

WIDENER LIBRARY



HX IPM2 V



~~1420.154~~ KF 2079

HARVARD COLLEGE LIBRARY



BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY

PETER PAUL FRANCIS DEGRAND

(1787-1855)

OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

ANNALES
DES
PONTS ET CHAUSSÉES.

TOME V.

IMPRIMERIE DE FAIN ET THUNOT,
IMPRIMEURS DE L'UNIVERSITÉ ROYALE DE FRANCE,
RUE RACINE, N° 28, PRÈS DE L'ODÉON.

ANNALES
DES
PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS
RELATIFS
A L'ART DES CONSTRUCTIONS
ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR;
LOIS, ORDONNANCES ET AUTRES ACTES
CONCERNANT
L'ADMINISTRATION DES PONTS ET CHAUSSÉES.

2^e SÉRIE.

1843.

1^{er} SEMESTRE.

PARIS.

CARILIAN-COEURY ET V^o DALMONT,
LIBRAIRES DES CORPS ROYAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,
Quai des Augustins, n^{os} 39 et 41.

Sci 1480.154

KF2079



Degrand fund

ANNALES
DES
PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS
RELATIFS
A L'ART DES CONSTRUCTIONS
ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR.

N^o 64.

M. BÉRIGNY,

Inspecteur général des ponts et chaussées.

- 1^o Paroles prononcées sur sa tombe ;
2^o Notice nécrologique.

1^o PAROLES PRONONCÉES SUR LA TOMBE DE M. BÉRIGNY ;

Par M. ROBIN, Ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Messieurs , je n'entreprendrai pas de retracer la vie entière de M. Bérigny , qui trouvera plus tard des juges plus compétents et de plus dignes interprètes ; mais qu'il soit permis à l'un de ceux que M. Bérigny a honorés de son amitié , de rappeler ici quelques traits saillants de cette vie si belle , et de lui payer un dernier tribut de gratitude et de respect.

M. Bérigny appartenait à cette forte génération d'ingénieurs que l'École polytechnique a produite dès son

Ann. des P. et Ch. MÉM. 2^e sér., 3^e ann. 1^{er} cah. — TOME V. 1

début, et qui s'est promptement placée aux premiers rangs du corps des ponts et chaussées. Il donna tout d'abord des preuves de cette aptitude au travail, de cette force de volonté qui ont signalé toute sa vie; car, entré tard dans la carrière, il commença ses études scientifiques à l'âge où d'autres les finissent, et n'en parvint pas moins à prendre rang, en peu d'années, parmi les plus instruits et les plus capables.

Comme ingénieur, M. Bérigny a eu le bonheur, si rarement accordé même aux hommes de talent, d'attacher son nom à une grande découverte. La méthode des *injections*, dont l'idée lui vint comme une véritable inspiration au milieu de difficultés qui paraissaient insurmontables, a reçu, à différentes époques et dans les travaux les plus divers, d'heureuses applications. Plusieurs ingénieurs en ont modifié les procédés; mais le mérite de l'invention lui reste tout entier.

M. Bérigny ne s'est pas moins distingué comme administrateur. Juste et bienveillant, inflexible quand il fallait l'être, il possédait à un haut degré deux qualités qui sont rarement réunies, la prudence et la fermeté. Il avait la force d'agir, et savait agir à propos. Aussi l'administration, qui connaissait toute sa valeur, l'enleva-t-elle à ses travaux de Dieppe pour lui confier successivement la direction de deux des premiers départements de l'empire où il y avait de grandes réformes à opérer. Il sut détruire les abus et rétablir l'ordre sans secousses et sans froissement; jamais mission difficile ne fut plus habilement remplie. Ces travaux, dignement appréciés dans leur temps, ne sont pas de ceux dont le souvenir est le plus durable, et sont peu connus sans doute des générations nouvelles; mais, au moment où la tombe de M. Bérigny va se fermer, il faut les rappeler comme un des plus grands services qu'il ait rendus à son pays.

Il faut rappeler aussi le bien qu'il a fait à l'École des

ponts et chaussées. Là encore il a eu le courage de faire des réformes : c'est lui qui a su donner à cette école des professeurs dignes d'elle , en y faisant appeler les Brisson et les Navier. M. Bérigny aimait les jeunes gens ; il se plaisait à prodiguer aux élèves les encouragements et les conseils qu'il avait reçus lui-même de son maître Lamblardie. Il ne se bornait pas, dans ces causeries paternelles, à les entretenir des objets de leurs études : il leur donnait aussi des règles de conduite pour l'époque difficile de leurs débuts , pour leur vie tout entière. Son appui plus tard ne leur a pas manqué. Celui qui rend à M. Bérigny ce dernier hommage éprouve le besoin de lui en témoigner ici sa profonde reconnaissance.

A la même époque , M. Bérigny eut la pensée heureuse de créer les collections lithographiques de l'école , qui ont réuni entre les mains des jeunes ingénieurs tant de matériaux précieux , dispersés jusqu'alors ou enfouis dans des collections ignorées : c'est encore un des plus grands services qu'il ait rendus à la science et à son corps.

Peu d'ingénieurs ont eu plus d'autorité que lui dans le conseil des ponts et chaussées. Ses avis , exprimés avec simplicité et clarté , toujours logiques , toujours appuyés sur les faits , étaient écoutés avec une attention soutenue , et répandaient dans la discussion de vives lumières.

Il ne m'appartient pas de le suivre dans sa carrière politique. Il me suffira de dire qu'il a été ; à toutes les époques , ennemi du désordre , ami sincère et déclaré des libertés publiques. Sans doute , au déclin de sa vie , les portes de la chambre des pairs se seraient ouvertes pour lui ; les ingénieurs l'auraient vu avec une vive satisfaction remplir la place que la mort de leur doyen vient de laisser vide dans cette assemblée.

M. Bérigny était animé de cet esprit de corps sage et éclairé qui , tout en répudiant les mauvaises traditions , conserve pieusement les bons principes ; personne n'eut

plus à cœur de maintenir intacts les sentiments d'honneur et de loyauté, l'amour désintéressé du bien, qui feront longtemps encore la force du corps des ponts et chaussées.

Il était bon, et d'une grande simplicité de mœurs. Quoiqu'il eût le sentiment de sa force, il ne parlait presque jamais de lui-même, et laissait aux autres le soin de louer ses services; il avait le cœur chaud et une rare constance dans ses amitiés. Il faut l'avoir vu dans son intérieur pour juger combien il aimait sa famille, combien il en était aimé. Il fut cruellement éprouvé dans ses plus intimes affections; trois enfants lui furent enlevés à l'âge de vingt ans. L'un d'eux avait subi avec distinction les épreuves de l'École polytechnique et de l'École des ponts et chaussées, et c'est sur lui sans doute que reposaient ses plus chères espérances. Il supporta ces coups avec une apparente résignation, mais son corps de fer et son âme énergique en furent ébranlés, et ce fut là peut-être le premier germe des maladies qui vinrent plus tard affliger les dernières années de sa vie.

M. Bérigny est mort à l'âge de soixante et onze ans, après de longues souffrances qu'ont adoucies les consolations de la religion. Sa carrière est une des plus complètes, une des plus brillantes qu'il ait été donné à un ingénieur de parcourir. Aucun des hommes distingués que nous venons de perdre, dans cette année si fatale au corps des ponts et chaussées, ne mérite de plus longs regrets, et n'a laissé de meilleurs exemples à suivre.

2° NOTICE NÉCROLOGIQUE;

Par M. FEVRE, Inspecteur général des ponts et chaussées.

Le corps royal des ponts et chaussées vient encore de perdre un de ses chefs, M. Bérigny, inspecteur général, député de la Seine-Inférieure, membre du conseil général du même département, officier de la Légion d'Honneur.

M. Bérigny s'est distingué par ses travaux d'art et d'administration ; à la science et à la méthode il réunissait dans l'exercice de ses fonctions une grande activité et une grande fermeté de caractère. Nous ne rappellerons ici que les traits principaux de sa carrière d'ingénieur.

Charles Bérigny naquit à Rouen , le 17 mars 1772. Après avoir fait de brillantes études au collège de cette ville, il s'appliqua aux mathématiques et fut reçu à l'École polytechnique à l'époque de sa fondation. Nommé le second de sa promotion en 1797 , à l'École des ponts et chaussées , il s'y fit remarquer par sa haute intelligence et par ses recherches sur les moyens d'appliquer l'analyse aux constructions hydrauliques.

Après avoir suivi, comme élève , la construction des fondations du grand pont de Nemours (département de Seine-et-Marne), il fut chargé, comme ingénieur, de la navigation de la Somme. A Cherbourg , où il fut envoyé en 1799 , pour être attaché aux travaux du port de commerce, sous les ordres de M. Gayant, il fit exécuter un mur de quai, les portes du bassin, et le pont tournant qui a mérité les éloges du public et des ingénieurs.

Trois ans après , en 1802 , il fut chargé des travaux du port de Dieppe et d'un arrondissement de routes.

La belle écluse de chasse de Dieppe, construite par Lamblardie , avait été fondée, sans épuisement , dans un vaste caisson de charpente ; mais la masse de galets sur laquelle reposait l'édifice ayant été excavée par les eaux que l'on retenait jusqu'à 6 mètres de hauteur au-dessus du radier, le caisson perdit une portion notable de ses points d'appui , et l'écluse, achevée en 1787 , ne pouvait plus fonctionner en 1795. Les constructions hydrauliques sont assurément les plus difficiles à établir solidement , et, lorsqu'elles ont éprouvé des avaries, on rencontre beaucoup d'obstacles pour les réparer, parce que c'est ordinairement

par les fondations qu'elles sont attaquées. M. Bérigny parvint à surmonter ces obstacles , et , dans l'espace de trois ans , rétablit complètement et à peu de frais l'écluse de Dieppe. Il obtint cet heureux résultat par un moyen ingénieux qui consistait à enlever toute la vase qui s'était déposée dans les excavations , et à injecter, avec des pompes à refouloir, du mortier de pouzzolane sous le caisson , pour remplir les affouissements que les eaux y avaient creusés. Cette opération ayant parfaitement réussi , et le temps en ayant confirmé les avantages et l'efficacité , on l'a souvent appliquée depuis comme le moyen le plus certain , le plus durable et même le moins coûteux d'arrêter les filtrations sous les fondations , et d'assurer la solidité des ouvrages hydrauliques. M. Bérigny a fait connaître les détails de son procédé d'injection dans un mémoire qu'il publia en 1832.

Une autre construction du port de Dieppe fournit à M. Bérigny une nouvelle occasion de montrer, avec un grand talent, une activité que rien n'arrête, une persévérance que, ni les accidents imprévus, ni les dangers évidents, ne peuvent fléchir; c'est celle de la grande écluse du bassin à flot de 14 mètres d'ouverture, destinée au passage à toutes marées des frégates armées. Cette écluse a été fondée sur pilotis et plate-forme à 12 mètres au-dessous du niveau des grandes marées de vives eaux; et les eaux de basse mer dans l'arrière-port, autour des batardeaux d'enceinte, restaient de 5 à 6 mètres au-dessus des fouilles. Les difficultés des infiltrations et toutes les autres ont été surmontées à mesure qu'elles se présentaient, et souvent par des moyens imaginés avec bonheur au moment même du besoin.

M. Bérigny fut récompensé de ses travaux par le grade d'ingénieur en chef, qu'il reçut en 1809, et il fut envoyé à Strasbourg pour donner la régularité nécessaire à tous les services du département du Bas-Rhin, l'un des plus

importants de la France sous le rapport des travaux et des dépenses. Cette mission délicate et difficile , comme toutes celles qui ont pour but de réparer les torts d'une mauvaise administration, prouve la haute opinion que M. de Montalivet, directeur général des ponts et chaussées, s'était formée des talents et de la fermeté de M. Bérigny. Celui-ci sut, en effet, rétablir en peu de temps l'ordre dans les adjudications des travaux publics, éloigner des entreprises tous ceux qui n'étaient pas connus par une probité rigoureuse, réparer, pour le passage des troupes, des routes qui étaient devenues impraticables. Les travaux du Rhin fixèrent particulièrement son attention ; il lui parut qu'un sage système de défense contre les érosions du fleuve était bien préférable à celui de nouveaux ouvrages destinés à changer brusquement la direction du thalweg ; car ces ouvrages sont ruineux , lors même qu'ils réussissent, et ils doivent être réservés pour des cas extraordinaires et d'une grande importance.

Ayant rempli complètement les intentions du gouvernement à Strasbourg, envoyé de là à Versailles, en 1812, par M. Molé, directeur général des ponts et chaussées, pour remplir une tâche qui avait aussi ses difficultés, celle de remettre parfaitement au courant le service du département de Seine-et-Oise, M. Bérigny s'en acquitta avec non moins de talents et de succès.

Le 1^{er} août 1814 il fut nommé secrétaire du conseil général des ponts et chaussées, et l'année suivante il fut chargé en même temps de l'inspection de l'École royale des ponts et chaussées. Le travail assidu et opiniâtre que la première fonction exigeait, ne l'empêcha pas d'exercer la seconde, comme s'il n'en avait pas eu d'autre ; et il contribua, par sa coopération, aussi active qu'éclairée, aux améliorations qui ont été faites alors dans l'instruction des élèves. Il aimait, non-seulement à diriger leurs études, mais encore à leur donner des conseils sur leur conduite

dans le monde. C'était pour lui un grand plaisir de reconnaître en eux les qualités qui lui faisaient présager de bons ingénieurs. Que de fois nous l'avons entendu s'applaudir d'avoir remarqué le premier tout ce qu'on devait attendre de l'élève qui, depuis, a mérité d'être notre chef!

M. Bérigny, nommé inspecteur divisionnaire en 1821, conserva les fonctions de secrétaire du conseil général jusqu'en 1822, qu'il fut chargé de l'inspection dont le chef-lieu était à Orléans, et qui comprenait alors les dix départements du bassin de la Loire.

En 1823, M. Becquey, directeur général des ponts et chaussées, lui confia la direction de l'étude du projet d'amélioration de la navigation de la Seine de Paris à la mer. Sur la fin de 1824, une compagnie s'occupa de faire de Paris un port de mer. M. Bérigny, quoique un pareil projet sortît des limites qui lui étaient assignées, rechercha néanmoins les moyens que l'art de l'ingénieur pourrait offrir pour atteindre ce but, et le 22 janvier 1826 il présenta deux projets : l'un pour le cas où l'on se bornerait à un tirant d'eau de 2 mètres, soit en restant en rivière, soit en faisant des dérivations; l'autre, entièrement distinct et séparé du premier, pour le cas où l'on porterait à 3 mètres cette profondeur, afin de permettre aux bâtiments de mer qui s'arrêtent à Rouen de remonter jusqu'à Paris. L'économie qu'il trouvait à rester en rivière en établissant des barrages, au lieu d'ouvrir des canaux latéraux, l'avait porté à croire que, dans les deux cas, le premier système d'ouvrages devait être préféré au second.

En 1830, M. Bérigny fut nommé inspecteur général des ponts et chaussées.

Il eut différentes missions particulières à remplir. Il faisait partie de la commission mixte des travaux publics, et de plusieurs autres commissions. Au sein du conseil général, il savait toujours saisir, dans chaque question, le point de difficulté qu'il importait de résoudre; il énon-

çait son opinion avec clarté et la défendait avec beaucoup de calme et de sagesse.

Membre de la chambre des députés, où il a siégé pendant quatorze années, il s'y est fait remarquer par plusieurs discours et par des travaux dans les commissions. Il fut notamment rapporteur de la grande loi des travaux publics de 1833 : la fermeté de son caractère, son esprit de modération et ses connaissances techniques donnaient un grand poids à ses opinions dans les bureaux.

Une maladie qui semblait d'abord facile à guérir a borné trop tôt une carrière aussi bien remplie.

En 1841, M. Bérigny fut obligé de se reposer et d'aller dans le climat tempéré du comté de Nice pour y rétablir sa santé ; il y a passé l'hiver de 1842, et en revint dans le mois de juin ; mais la maladie dont il était atteint ayant fait des progrès rapides, fidèle aux devoirs d'un chrétien résigné, et soutenu par les consolations que l'âme pieuse trouve dans leur accomplissement, il a été enlevé à sa famille et à ses amis le 6 octobre 1842.

N^o 65.

NOTICE

Sur la navigation à la vapeur de la Saône et du Rhône, considérée comme moyen rapide de communication dans une partie du trajet entre Paris et Marseille ;

Par M. W. MANÈS, Ingénieur en chef des mines.

INTRODUCTION.

La notice suivante a été rédigée en 1841, alors qu'on n'avait pas encore présenté la loi sur les chemins de fer qui a été votée en 1842. Je m'attachai dès cette époque à montrer le haut degré d'utilité publique de la ligne qui doit unir la capitale aux deux villes de Lyon et de Marseille, ces deux grands centres commerciaux et industriels, et je fis des vœux pour que l'administration en décidât promptement la mise à exécution.

D'après l'idée fort juste émise par M. Michel Chevalier, que, dans l'état actuel des choses, il suffit de relier par des chemins de fer les points à partir desquels les fleuves sont régulièrement navigables par bateaux à vapeur, je fis observer que l'on pouvait réduire le chemin de fer de Paris à Marseille, à deux tronçons, dont l'un reliait Paris à la Saône, et l'autre Marseille au Rhône.

Le chemin de fer de Marseille au Rhône devait naturellement être dirigé sur Beaucaire ou sur Avignon. Il résultait d'ailleurs des études faites par M. l'inspecteur général Kermaingant, que, dirigé sur Beaucaire, il avait l'avantage d'établir une communication avec les chemins de Nîmes et de Montpellier, était d'une exécution facile, mais traversait des contrées stériles et désertes; que, dirigé sur Avignon, il passait par Aix, traversait de riches vallées,

mettait en communication plus prompte avec Lyon , mais présentait beaucoup de difficultés d'exécution. Je pensai donc qu'à moins que l'on ne découvrit dans les gorges qui avoisinent la ville d'Aix un passage plus facile que ceux jusque-là explorés , la première direction devait être préférée.

Le chemin de Paris à la Saône , qui était alors l'objet d'études en cours d'exécution , me parut devoir satisfaire à ces deux conditions : 1^o de passer par Dijon , ville trop importante pour pouvoir être négligée , et qui d'ailleurs est on ne peut mieux placée pour servir de point de jonction aux chemins du midi et de l'est de la France ; 2^o de joindre la Saône à Châlon même , place de commerce fort rapprochée du point le plus élevé de cette rivière qui puisse jamais être accessible à la navigation rapide à la vapeur , et offrant aux industriels des facilités que ceux-ci ne trouveraient point ailleurs. Considérant enfin que les deux directions principales qui rentrent dans ce système sont d'une part celle qui suit le canal de Bourgogne , et d'autre part celle qui remonte la Seine ; il me parut que de ces deux directions , présentant à peu près la même longueur et les mêmes facilités , la dernière devait être adoptée , attendu qu'elle arrive plus directement à Dijon , qu'elle traverse une contrée dépourvue de tous moyens économiques de transport , qu'elle passe par Troyes , ville populeuse et industrielle , et qu'elle touche à de nombreuses et importantes usines.

Depuis le moment où je présentais ces considérations , a paru la loi de 1842 , qui a consacré une partie des principes que j'avais admis. Cette loi a d'ailleurs donné le classement général des grandes lignes à exécuter , elle a encore décidé la mise à exécution simultanée de toutes les lignes classées ; sous ces deux rapports elle me paraît laisser à désirer , mais ce n'est pas ici le lieu de rechercher ce que l'on aurait pu faire.

Quoi qu'il en soit, la grande ligne de Paris à Marseille a été une de celles auxquelles la loi de 1842 a affecté le plus de fonds. Il a été décidé par cette même loi que le chemin de fer de Marseille au Rhône serait dirigé sur Arles et Tarascon, où il communiquerait avec les chemins de fer de Nîmes et Montpellier, plutôt que d'être dirigé par Orgon sur Avignon, parce que ce dernier tracé, qui laisserait toujours la ville d'Aix de côté, et qui sacrifierait les droits acquis de la ville d'Arles, ne dispenserait pas d'un embranchement sur Tarascon et Arles, et que cet embranchement ne satisferait d'ailleurs ni aux intérêts généraux, ni aux intérêts locaux. La même loi a enfin décidé que le chemin de fer de Paris à Lyon passerait par Dijon, et qu'il joindrait la Saône à Châlon.

On n'a pas encore arrêté en principe le tracé de Paris à Dijon ; mais, quel qu'il soit, lorsque les deux tronçons de chemins de fer de Paris à Châlon et de Marseille à Tarascon seront exécutés, on pourra, pour le trajet de Châlon à Tarascon, profiter de la bonne navigation à la vapeur qui déjà dessert cette ligne. On a objecté contre ce fractionnement de la grande ligne de Paris à Marseille, l'état variable de la Saône et du Rhône, l'irrégularité à la descente de la navigation à la vapeur établie sur ces deux rivières, ainsi que son excessive lenteur à la remonte. La notice suivante, que je viens de revoir et de compléter, fait connaître l'état actuel de cette navigation ; elle montre qu'au point où cette navigation est parvenue, et au moyen de quelques dispositions faciles à prendre, celle-ci peut suffire pendant longtemps aux plus grandes exigences.

PREMIÈRE PARTIE. — DE LA NAVIGATION SUR LA SAÔNE.

La Saône prend sa source dans les Vosges, traverse les départements de la Haute-Saône, de la Côte-d'Or, de Saône-et-Loire et du Rhône, et se jette dans le Rhône au

hameau de la Mulatière, à 5 kilomètres au-dessous de Lyon.

On la divise en petite et grande Saône. La Petite-Saône, ou la partie comprise entre Gray et Verdun, a un développement total de 116 kilomètres. La pente totale entre ces deux points est de $14^m.94$, ou de $0^m.128$ par kilomètre; cette pente n'est pas d'ailleurs uniformément répartie, elle est presque nulle dans l'étendue des biefs naturels que présente la rivière et s'élève au delà de $1^m.00$ par kilomètre sur les hauts fonds qui les séparent. La profondeur des eaux varie en temps d'étiage depuis $0^m.40$ jusqu'à $5^m.00$ et $6^m.00$. La vitesse, dépendante des pentes et de l'état des eaux, est moyennement, dans les mêmes circonstances, de $0^m.38$ à $0^m.40$ par seconde, et le volume des eaux est alors d'environ $26^m.40$ par seconde. Pour obtenir dans cette partie de la Saône un mouillage maximum de $1^m.60$ égal à celui des canaux qui y viennent aboutir, on construit en ce moment des barrages avec pertuis et des dérivations éclusées qui produiront cet important résultat, mais s'opposeront toujours à ce qu'une navigation rapide à la vapeur puisse s'établir en amont de Verdun.

La Grande-Saône, qui s'étend de Verdun à Lyon, a un développement total de 166 kilomètres environ; sa pente totale entre ces deux points est de $12^m.50$ ou de $0^m.075$ en moyenne par kilomètre. Voici comment cette pente est répartie: elle est de $1^m.00$ entre Verdun et le pont de Châlon, distants de $25^k.50$; de $2^m.73$ du pont de Châlon à celui de Mâcon, distants de $61^k.50$; de $3^m.09$ du pont de Mâcon à Trévoux, distants de 49 kilomètres; enfin de $5^m.74$ de Trévoux à Lyon, distants de 30 kilomètres. On voit que le maximum de pente se trouve dans la partie comprise entre Trévoux et Lyon, qu'elle y est en réduite de $0^m.19$ par kilomètre, tandis qu'elle est moindre de $0^m.04$ par kilomètre entre Verdun et Châlon.

La profondeur de cette partie de la Saône ne présente pas plus d'uniformité ; en temps d'étiage elle varie depuis 0^m.50 jusqu'à 6^m.20.

Enfin la vitesse des eaux en étiage est de 0^m.10 dans les fosses ou biefs et s'élève jusqu'à 2^m.00 sur quelques rapides, comme ceux de Trévoux à Lyon : elle est alors en moyenne de 0^m.50 par seconde ; en bonnes eaux les pentes et la vitesse tendent à s'uniformiser, et on peut estimer à 1^m.00 par seconde la vitesse moyenne en hautes eaux ordinaires.

Le volume des eaux de la Grande-Saône en étiage est à Mâcon de 60 mètres cubes par seconde. Les eaux de la Saône sont au plus bas dans les mois de juillet et août, elles descendent alors quelque peu au-dessous du zéro des échelles des ponts de Châlon (1) et de Mâcon, qui sont le premier à 172^m.40 au-dessus de la Méditerranée, et le second à 170 mètres. A cette époque elles laissent parfois sur quelques points de leur cours leur lit presque entièrement à nu, et rendent la navigation fort pénible, quelquefois même impossible. Pour y obtenir partout au-dessous de Verdun le mouillage nécessaire aux bateaux, on a projeté d'intercepter par des digues insubmersibles les eaux qui s'échappent en pure perte dans les faux bras, et de les réunir toutes dans le chenal de la navigation qui lui-même sera modifié de manière à renfermer les eaux d'étiage dans un lit mineur bordé par des clayonnages végétatifs. Ce projet, à l'exécution duquel on a travaillé avec beaucoup d'activité en 1840, sera terminé avant deux ou trois ans, et de ce moment on espère pouvoir rendre la navigation permanente pendant toute la durée des basses eaux.

Les crues de la Saône ont lieu en février, mars et novembre, et quelquefois en juin ; elles se font lentement et s'élèvent ordinairement à 5^m.00 et 6^m.00 au-dessus de

(1) L'étiage moyen de la Saône au pont de Châlon, est à 0^m.13 au-dessus du zéro de l'échelle.

l'étiage; or, comme la hauteur moyenne des berges vers Châlon et Mâcon est de 4^m.50 à 5^m.00 au-dessus de l'étiage, il en résulte que lorsque les crues ont atteint ce niveau, les prairies voisines sont totalement inondées, qu'il est alors fort difficile de se bien diriger, et que les bateaux à vapeur sont exposés à quitter le lit de la rivière et à s'échouer sur l'une ou l'autre rive, ainsi que cela est plusieurs fois arrivé. Un balisage de la rivière rendrait dans ce cas de grands services et devrait être effectué. Il conviendrait encore de rendre la navigation toujours possible en hautes eaux, de faire une arche marinière au pont de pierres de Mâcon dont le passage se trouve alors trop rétréci, ainsi que d'élever le tablier de ceux des ponts suspendus qui ne se trouvent pas placés à une hauteur suffisante. Ces ponts ont généralement de 8^m.00 à 9^m.00 au-dessus de l'étiage, et les tambours des paquebots à vapeur sont élevés d'au moins 3 mètres au-dessus du plan de flottaison: il s'ensuit que lorsque les eaux s'élèvent à 5 mètres on ne peut plus passer. On passerait au contraire en tout temps si les tabliers des ponts les plus bas étaient portés à l'élévation de 9 mètres au-dessus de l'étiage. Il faudrait pour cela relever de 0^m.50 à 0^m.70 ceux de Thoissey, Belleville, Montmerle, Beauregard et Saint-Bernard.

Les paquebots à vapeur destinés au transport des voyageurs ont commencé à être établis sur la Grande-Saône vers l'année 1826.

On a d'abord employé de petits bateaux à coques en bois et fonds plats dont la longueur était d'environ 25 mètres, et la largeur égale au cinquième de la longueur. Ces bateaux avaient une seule machine de la force de quatorze à seize chevaux; cette machine était à basse pression, à condensation et à balancier, construite sur le système de Miller, avec un bâti massif et une chaudière rectangulaire d'un grand volume. La grande pesanteur de ce genre de machines donnait d'ailleurs à ces bateaux un

fort tirant d'eau qui gênait beaucoup leur navigation ; la trop grande largeur de la coque nuisait aussi beaucoup à la vitesse ; enfin, l'emploi d'une seule machine rendait les mouvements difficiles en même temps qu'elle occasionnait des chocs désagréables aux voyageurs et destructeurs pour le bateau.

Les bateaux *la Chalonnaise* et *la Lyonnaise*, qui naviguaient sur la Saône en 1827, étaient construits dans ce système ; ils avaient l'un et l'autre 27^m.60 de longueur, 5^m.28 de largeur, tiraient 0^m.72 d'eau à vide et 0^m.80 avec cent passagers. Ils mettaient terme moyen neuf heures pour descendre de Châlon à Lyon (34 lieues de poste) et quinze heures pour remonter ; ils brûlaient 105 kilogrammes de houille par heure, soit 7 kilogrammes $\frac{1}{2}$ par heure et force de cheval ; ils ne pouvaient d'ailleurs naviguer qu'environ six mois de l'année.

Plus tard on a continué d'employer les machines à basse pression et à balancier et les chaudières rectangulaires ; mais au lieu d'une seule machine de la force de 14 à 16 chevaux, on en a eu deux de force moitié moindre, liées ensemble par un axe commun, et on a adopté les machines du système Jackson qui présentent une disposition plus simple et plus légère. On a en outre augmenté la longueur du bateau et diminué sa largeur, et par tous ces changements on a déjà obtenu diminution notable dans le tirant d'eau, augmentation sensible dans la vitesse et régularisation parfaite dans la marche.

Le bateau *l'Hirondelle* n° 1, construit en 1830, donne une idée de ce premier perfectionnement obtenu. Ce bateau a 34^m.00 de longueur et 4^m.40 de largeur. Le poids de sa coque en bois est de 36 tonneaux $\frac{1}{2}$. Il a deux machines à basse pression de la force de 8 chevaux chacune, lesquelles pèsent ensemble avec leur chaudière 13 tonneaux $\frac{1}{2}$. Les cylindres ont 0^m.457 de diamètre intérieur, la hauteur de course du piston est de 0^m.66, le nombre

de pulsations de 30 par minute , et la tension de la vapeur de 1 atmosphère $\frac{1}{2}$. La chaudière rectangulaire à deux foyers , a 30 mètres quarrés de surface de chauffe dont 9 en surfaces horizontales et 21 en surfaces verticales. Le bateau tire à vide 0^m.55 , et avec charge de 150 passagers 0^m.80 ; il brûle 125 kilogrammes de houille par heure , descend en huit heures et remonte en treize heures.

En 1834 de plus grands perfectionnements encore ont été obtenus dans le bateau *l'Hirondelle* n° 3, par l'emploi de machines plus fortes , toujours du système Jackson , mais travaillant à moyenne pression , à détente et condensation , et s'alimentant de vapeur à l'aide de chaudière cylindrique. Ce bateau ayant , pendant plusieurs années , conservé une grande supériorité sur ses concurrents , mérite sous ce rapport d'être décrit avec quelques détails : les suivants sont extraits en partie d'un rapport fait par M. l'ingénieur en chef Paris lors de la délivrance du permis de navigation.

Ce bateau a 34^m.50 de longueur, 4^m.76 de largeur et 1^m.80 de creux, sa coque est en bois et à fond plat , la fonçure est formée entièrement de plateaux de chêne de 0^m.027 d'épaisseur ; il en est de même du bordage jusqu'à 0^m.70 au-dessus de la carlingue formant quille , le reste du bordage est en plateaux de sapin de 0^m.021 d'épaisseur. Les plateaux de la fonçure et ceux du bordage sont cloués et chevillés sur des membrures en chêne , épaisses de 0^m.08 à 0^m.10 et espacées de 0^m.44 les unes des autres. Ces membrures sont reliées ensemble par cinq cours de carlingues de 0^m.16 à 0^m.20 d'équarrissage placées de champ et unies par des boulons ; la carlingue du milieu formant quille est seule en chêne , les autres sont en sapin. A la jonction du bordage avec la fonçure , sont encore placées deux pièces de bois en sapin , dites grains d'orge , faisant office de carlingues et reliées aux membrures de la fonçure et du bordage au moyen de boulons ; ces pièces posées à plat ont un équarrissage de 0^m.16 sur 0^m.20.

Cette coque est divisée en trois compartiments, dont un au milieu pour les chaudières et les machines, et deux aux extrémités pour les passagers.

L'axe des roues à aubes est placé à peu près à la moitié de la longueur du bateau ; le diamètre de ces roues est de 3^m.05 y compris les aubes. Celles-ci, disposées perpendiculairement au bateau, sont au nombre de dix ; elles ont 1^m.70 de longueur et 0^m.43 de hauteur, leur plongement moyen dans l'eau est de 0^m.35. Pour diminuer le mouvement de trépidation produit par le choc successif des aubes contre la surface de l'eau, et d'autant plus sensible sur la Saône, que les bateaux sont d'une plus grande légèreté, on a revêtu les aubes de planches jointives d'environ 0^m.20 de largeur, disposées transversalement et dépassant de 0^m.12 environ leur bord extérieur. Ces rebords sont coupés en biseau de manière à représenter une file de dents sur le bord de l'aube, de telle sorte que lorsque celle-ci commence son immersion, l'eau n'est frappée que par la pointe et l'instantanéité du choc est détruite.

Le mouvement est donné aux roues à aubes par deux machines à double effet dont les pistons agissant sur des manivelles perpendiculaires, combinent leurs efforts de manière à régulariser autant que possible le mouvement. Les cylindres ont 0^m.53 de diamètre, la course des pistons est de 0^m.79, et le nombre de coups de piston par minute de 34, la vitesse des pistons est dès lors de 0^m.90 par seconde. Le mouvement étant transmis sans engrenage, chaque coup de piston correspond à un tour de roue.

La vapeur arrive dans les cylindres avec la tension de 2 atmosphères ; si elle agissait toujours à pleine pression, la puissance mécanique des deux machines serait théoriquement de 7 496 kilogrammes élevés à 1^m.00 par seconde, correspondant à un effet utile de 3 748 kilogrammes qui équivalent à 50 chevaux. Mais cette vapeur est ordinairement interceptée au $\frac{1}{2}$ de la course, la puissance de la

machine n'est alors que les $\frac{66}{100}$ de la puissance à pleine pression, c'est-à-dire d'environ 33 chevaux, force d'ailleurs bien supérieure à celle employée jusque-là dans les bateaux de la Saône.

L'introduction de la vapeur au-dessus et au-dessous du piston s'effectue à l'aide d'un tiroir mû par un excentrique placé sur l'arbre des roues. L'interception de vapeur s'exécute séparément au moyen de deux came^s fixées à un autre point du même arbre. Ces came^s agissent sur un levier et impriment deux mouvements au robinet qui amène la vapeur dans la boîte à tiroir. Par l'un et l'autre de ces mouvements l'admission de vapeur cesse d'avoir lieu, et dès que la came a abandonné le levier un ressort fait revenir le robinet à sa première position. On peut d'ailleurs, au moyen d'une vis, éloigner ou rapprocher le point du levier qui vient frapper la came et par là faire varier à volonté la durée de l'interception de vapeur. Cet emploi de la détente est un perfectionnement fort important qui permet d'économiser le combustible et de faire varier suivant les besoins la puissance du moteur.

La vapeur est fournie par deux chaudières cylindriques en tôle, de 2^m.75 de longueur et 1^m.37 de diamètre, à fonds plats. Elle communique par la partie supérieure pour la vapeur au moyen d'un grand tuyau en fonte qui aboutit aux deux réservoirs dont ces chaudières sont surmontées. Chaque chaudière a un foyer intérieur large et profond de 1^m.00, terminé par un petit mur en briques, élevé de 1 $\frac{1}{2}$ à 2 décimètres au-dessus de la grille, et descendant jusqu'au fond du cendrier profond de 1^m.00. La voûte du foyer est cylindrique sur 1^m.30 de longueur, elle s'abaisse au delà du mur en forme de calotte sphérique jusqu'à 0^m.50 ou 0^m.60 du fond, se poursuit comme un canal jusque vers le milieu de la longueur de la chaudière, de là la flamme et la fumée gagnent par une ouverture latérale la cheminée commune située entre deux. Chaque foyer est divisé lon-

gitudinalement en deux parties par un bouilleur vertical à faces planes qui monte du cendrier au sommet de la voûte ; ces deux parties communiquent par devant ; chaque compartiment est muni d'une porte à coulisses. Le grand canal qui fait suite au foyer est divisé aussi en trois compartiments ou carneaux longitudinaux par deux bouilleurs plats et verticaux , et il en est de même du canal en retour. Le calcul rigoureux des surfaces de chauffe donne pour chaque chaudière 10 mètres quarrés dont $3\frac{1}{2}$ à 4 en chauffe directe qui , à 30 kilogrammes de vapeur par mètre quarré et par heure , doivent donner par seconde 33 grammes de vapeur équivalents à $0^m.00.33$ d'eau.

L'eau s'élève dans la chaudière à $0^m.24$ au-dessous de l'arête supérieure , la vapeur occupe le segment cylindrique supérieur qui cube environ $0^m.47$. La plus petite épaisseur des couches d'eau comprises entre les divers carneaux est de $0^m.12$, et le volume total de l'eau contenue dans la chaudière est $1^m.00.50$ environ , la chaudière offrant un cube total de $4^m.00$. La vapeur occupe les $0^m.47$ de la chaudière , plus un réservoir supérieur ou cylindre vertical de $1^m.00$ de diamètre et $0^m.50$ de hauteur terminé par une demi-sphère , lequel cube environ $0^m.60$. Le volume total de la vapeur est donc de $1^m.00$; cet approvisionnement de vapeur suffit à près de neuf coups de piston travaillant à détente , et il s'épuiserait complètement en seize ou dix-huit secondes si la vapeur n'était incessamment reproduite.

Le bateau *l'Hirondelle* n° 3 , dont nous venons d'indiquer la construction , tirait à vide $0^m.55$, et chargé de 150 passagers , $0^m.75$. Il descendait de Châlon à Lyon en sept heures et demie , et remontait en onze heures et demie ou douze heures. Sa consommation en combustible était de 200 kilogrammes par heure. Il a fait ainsi pendant six années le service avec une grande supériorité de marche sur tous ses concurrents , et ce n'est qu'en 1839 qu'il a été

dépassé par les bateaux en fer *l'Aigle* n° 1 et *le Cygne*, établis à cette époque avec la force de 40 chevaux chacun. Au commencement de 1840, on a d'ailleurs changé la coque et la chaudière de *l'Hirondelle* n° 3, en même temps qu'on a augmenté la force de la machine en élevant de 2 à 2 $\frac{1}{2}$ et 3 atmosphères la tension de la vapeur, et depuis lors ce bateau a repris son premier rang.

Le nouveau bateau *l'Hirondelle* n° 3 a sa coque construite en tôle et non pas en bois, et par ce changement elle est devenue d'un poids respectivement moindre. Il est vrai que dans ce système on est plus exposé à faire de grandes avaries; mais en divisant, comme cela a toujours lieu, la coque en plusieurs compartiments indépendants, les voyageurs n'ont aucun danger à craindre sous ce rapport. Quoi qu'il en soit, la coque de *l'Hirondelle* a 43^m.00 de longueur, 4^m.60 de largeur et 2^m.10 de creux. Elle est formée de plaques de tôle qui ont 0^m.004 d'épaisseur dans la partie inférieure et 0^m.003 au-dessus du plan de flottaison. Ces plaques sont maintenues par des courbes en fer d'angle de 0^m.003 à 0^m.004 d'épaisseur, et 0^m.08 de développement, lesquelles sont espacées entre elles de 0^m.65. Quatre carlingues en chêne de 0^m.15 d'équarrissage supportent la machine qui est relevée par un cadre de 0^m.12 d'équarrissage. Enfin six fermes en bois de 0^m.19 sur 0^m.06 tendent encore à empêcher le bateau de se déformer vers le milieu.

La coque est divisée en trois compartiments, un au milieu pour les chaudières et les machines, et deux autres aux extrémités pour les passagers. Le compartiment de derrière comprend une salle à manger, un salon et une chambre de dames, le tout parfaitement meublé et décoré dans le dernier goût.

Les roues, placées à 20^m.48 de la proue et à 22^m.50 de la poupe, ont 3^m.90 de diamètre, y compris les aubes. Celles-ci, au nombre de onze, ont 1^m.87 de largeur et 0^m.52

de hauteur; leur plongement moyen est de 0^m.45. Ces aubes ne sont plus perpendiculaires à l'axe du bateau, mais inclinées de manière à écarter l'eau frappée des flancs du bateau et à entrer obliquement dans l'eau, ce qui facilite la marche et diminue le choc.

L'appareil moteur est le même que celui que nous avons décrit ci-dessus; la détente s'y fait toujours au $\frac{1}{2}$ en moyenne, mais la vapeur est introduite dans le cylindre à la pression de 3 atmosphères, et la force de la machine est aujourd'hui de 50 chevaux.

La vapeur est fournie par des chaudières cylindriques neuves dont la construction diffère peu de celle des chaudières de l'ancienne *Hirondelle* n° 3. Les principales différences consistent dans la plus grande longueur de ces nouvelles chaudières et dans le plus grand volume des réservoirs de vapeur. Les surfaces de chauffe sont ici de 14^m.80. L'eau s'élève dans chaque chaudière à 0^m.20 au-dessous de l'arête supérieure; le volume total occupé par elle est de 1^m.95, tandis que la vapeur qui occupe les 0^m.20 de la chaudière, plus un réservoir de 0^m.90 de diamètre et 1^m.25 de hauteur, a un volume total de 1^m.12 qui peut suffire à 9 $\frac{1}{2}$ coups doubles de piston.

La nouvelle *Hirondelle* n° 3 tire à vide 0^m.50, chargée de 200 passagers, 0^m.60. Elle descend de Châlon à Lyon en sept heures et remonte en dix heures à dix heures et demie. La consommation en combustible est de 250 kilogrammes par heure.

Enfin en 1842 a été construit, en remplacement de l'*Hirondelle* n° 1, qui n'est plus employé que pour échange, le beau bateau l'*Hirondelle* n° 5, qui est en ce moment le premier paquebot de la Saône.

Ce bateau, construit en tôle et divisé de même que le n° 3, a 48^m.00 de longueur sur 5^m 00 de largeur et 2^m.50 de creux. Les roues, placées à 22^m.00 de la proue et 26^m.00 de la poupe, ont 4^m.50 de diamètre. Les aubes, encore

inclinées par rapport à l'axe du bateau, sont au nombre de douze. Elles ont 1^m.90 de longueur sur 0^m.83 de hauteur.

Les machines sont de même forme et construction que celles du n° 3, mais plus fortes. Les cylindres ont 0^m.60 de diamètre et les pistons 0^m.84 de hauteur de course. Le nombre des coups de piston est de trente-deux par minute, ce qui donne une vitesse de 0^m.90 par seconde. La vapeur arrive dans les cylindres à la pression de 3 atmosphères, et la détente s'y fait toujours au tiers, il en résulte que la force des machines est ici de 60 chevaux.

La vapeur est fournie par deux chaudières cylindriques, ayant chacune 4^m.00 de longueur sur 1^m.33 de diamètre, et un foyer intérieur de 1^m.33 de longueur sur 1^m.16 de largeur.

L'*Hirondelle* n° 5 tire à vide 0^m.48, et avec charge de 300 passagers, 0^m.63; ce paquebot descend de Châlon à Lyon en six heures trois quarts, il remonte de Lyon à Châlon en neuf heures à neuf heures et demie, il résout donc déjà presque complètement, et malgré l'état encore imparfait du mouillage de la Saône, le problème du double trajet en un jour de la distance de trente-quatre lieues qui sépare ces deux villes.

Les détails qui précèdent font connaître les principaux perfectionnements qui ont été introduits dans la navigation à la vapeur établie sur la Saône. Déjà, comme on le voit, celle-ci est arrivée à un point très-satisfaisant. On peut croire d'ailleurs qu'elle fera encore d'autres progrès et pourra profiter un jour des nombreuses modifications que l'on essaye d'apporter soit aux machines, soit à la navigation de la rivière elle-même.

Le tableau suivant donne l'état des différents paquebots qui naviguent actuellement sur cette rivière.

Navigation de la Sabae.

[illegible]

Après, la ligne, après avoir pendant quelque temps été surpassée par la nouvelle *Mirabelle* no 3, a depuis atteint la vitesse de ce dernier bateau au moyen d'un couple de 12 chevaux à pleine pression, et l'aillement produit par le remplissage de la cheminée, ainsi que des éloignés et manœuvres du fond qui ont été effectués, a permis de remplacer la *no 1* qui était également inférieur en vitesse à la nouvelle *Mirabelle* no 3.

On voit par ce tableau que neuf bateaux appartenant à trois compagnies différentes sont en ce moment employés à la navigation de la Saône, et que six d'entre eux font régulièrement le service de Châlon à Lyon. Chaque jour il descend et remonte par conséquent trois bateaux qui partent à des heures fixes, à demi-heure d'intervalle les uns des autres et dans un ordre indiqué par la police municipale, afin d'éviter toute lutte entre eux. Ces bateaux s'arrêtent à différents ports fixés par des arrêtés de préfecture; là l'embarquement et le débarquement des voyageurs s'effectuent sur des pontons qui préservent de tous dangers. Ces mêmes bateaux sont soumis à Châlon et à Lyon à l'inspection de deux commissions de surveillance qui s'assurent que les mesures de sûreté prescrites par les règlements sont toujours parfaitement remplies. Conduits en outre par des mécaniciens entendus et des pilotes exercés, ils offrent dans leur marche toute sécurité aux voyageurs. Il est remarquable à ce sujet que depuis quinze ans que la navigation à la vapeur a lieu sur la Saône, il ne soit arrivé aucun accident qui ait été occasionné par l'emploi même de ce moteur.

Aujourd'hui les voyageurs trouvent toutes les commodités possibles dans les paquebots de la Saône, dont l'aménagement ne laisse rien à désirer. Ils font avec rapidité et sans fatigue le voyage entre Châlon et Lyon, et peuvent jouir pendant le trajet de la vue des belles campagnes qui, en aval de Mâcon, bordent les deux rives, tandis que par les messageries ils mettraient douze à quatorze heures à faire ce voyage, et dépenseraient de 8 à 12 fr.; par les paquebots ils arrivent en huit à douze heures et ne dépensent que 6 à 8 fr. Ces derniers prix sont d'ailleurs bien élevés, et il serait peut-être de l'intérêt des compagnies de les réduire à 4 et 6 fr.

Depuis l'amélioration des passages de Trévoux et de Mâcon, ceux des paquebots de la Saône qui tirent le

moins d'eau peuvent continuer leur service pendant les plus grandes sécheresses ; les autres peuvent encore marcher quand les eaux s'élèvent du n° 450 au n° 500 du pont de Châlon et couvrent déjà les prairies. En somme l'interruption de la navigation n'est pas actuellement de plus de trois mois en moyenne, et d'ici à deux ans on peut espérer qu'elle sera de beaucoup réduite, si l'administration des ponts et chaussées mène avec activité les travaux qui sont déjà en cours d'exécution et qui doivent procurer un bon mouillage en temps de sécheresse, et si elle fait en outre baliser la rivière et élever les ponts suspendus les plus bas, de manière à pouvoir se guider et passer partout en hautes eaux ordinaires.

Lorsque actuellement les bateaux à vapeur sont forcés de séjourner, il est d'ailleurs fort difficile de se rendre de Châlon à Lyon ; on ne trouve dans ce cas que de mauvaises petites voitures, dont les maîtres rançonnent les voyageurs et les font rester un temps considérable en route. Pour éviter qu'après l'achèvement des travaux d'amélioration que je viens d'indiquer il n'en soit de même pendant le petit nombre de jours où les glaces pourront encore empêcher de naviguer, il me semble que l'administration devra, au moyen d'une indemnité convenable, s'entendre avec les grandes messageries pour faire tenir prêt un service spécial qui garantira le voyageur de tout arrêt. Ce sera une dépense bien minime en raison du bien qu'elle produira, et à laquelle ne devra pas se refuser l'administration à qui sont dues déjà tant d'autres améliorations.

DEUXIÈME PARTIE. — DE LA NAVIGATION SUR LE RHÔNE.

Le Rhône prend sa source au mont de la Fourche, élevé de 1900^m.00 au-dessus du niveau de la mer. Il traverse le lac de Genève, entre en France un peu au-dessous de cette ville, court du nord-est au sud-ouest jusqu'à Cordon ; là il tourne à l'ouest pour gagner Lyon, puis il prend sa

direction au sud, passe par Valence, Avignon, Beaucaire et Arles, et se jette dans la Méditerranée par deux embouchures principales.

On divise le Rhône en haut et bas Rhône. Le Haut-Rhône, ou la partie comprise entre Genève et Lyon, a un développement total de 218 kilomètres; la pente totale entre ces deux points est de 212^m.00 ou de 0^m.972 par kilomètre. Cette pente n'est point d'ailleurs uniforme; au-dessus du Parc, le Rhône forme comme une suite de cascades de 1^m.50 à 3^m.00 et même 4^m.00 de hauteur, séparées par des biefs naturels de fort peu d'étendue; il se perd en outre à Bellegarde sous les rochers, et est entièrement inaccessible à la navigation. Au-dessous du Parc, les hauts fonds sont plus espacés et moins rapides, et la navigation commence à devenir possible; mais elle est encore fréquemment entravée par le peu de hauteur d'eau et par la difficulté de franchir le Sault formé par un banc de rocher qui occasionne une chute de 1^m.00.

Déjà cependant une navigation à la vapeur a pu s'établir dans cette dernière partie, et y faire pendant la belle saison le service régulier de Lyon à Aix en Savoie. Quelques-uns des bateaux ont remonté sans difficulté jusqu'à Seyssel. Les gouvernements de Suisse et de Savoie projettent d'ailleurs en ce moment de relier Seyssel à Genève par un chemin de fer, et d'ouvrir ainsi une communication rapide et facile entre le midi et la Suisse. D'un autre côté l'administration des ponts et chaussées fait faire maintenant l'étude d'un projet de barrage du Rhône à Genève afin d'exhausser le niveau du vaste et beau lac de cette contrée, et de permettre de disposer d'une masse d'eau suffisante pour rendre parfaitement navigable tout le Haut-Rhône, ce qui serait d'un immense avantage pour le commerce. Tout ceci sort du reste du cadre que je me suis tracé et je ne m'y arrêterai pas davantage.

Le Bas-Rhône s'étend de Lyon à la mer. Du pont de la

Mulatière à Beaucaire, il présente un développement de 270 kilomètres, et la pente entre ces deux points est de 156^m.15 ou 0^m.577 en moyenne par kilomètre. Voici comment cette pente est répartie :

DÉSIGNATION.	Distances.	Pentes totales.	Pentes par kilomèt.
	kilom.	mèt.	mèt.
De la Mulatière à Givors.	15.170	8.25	0.544
De Givors à Vienne.	11.015	5.23	0.474
De Vienne à l'embouchure de la Varaize.	16.530	7.31	0.442
De l'embouchure de la Varaize à celle du Dolon.	14.690	7.48	0.509
De l'embouchure du Dolon à celle du Bentil.	8.920	3.96	0.445
De l'embouchure du Bentil à celle de la Galaure.	7.096	3.42	0.482
De l'embouchure de la Galaure à celle de l'Isère.	28.068	15.85	0.565
De l'embouchure de l'Isère à Valence.	6.276	4.35	0.695
De Valence à l'embouchure du Ley.	95.391	70.84	0.742
De l'embouchure du Ley à Roquemaure.	21.420	11.67	0.544
De Roquemaure à Beaucaire.	45.520	17.79	0.390
De Beaucaire à Arles.	15.580	4.49	0.288

Ce tableau montre que le maximum de pente se trouve entre les rivières de l'Isère et du Ley, et que cette pente est d'environ 0^m.70 par kilomètre, tandis que le minimum de pente a lieu entre Roquemaure et Beaucaire, et est là de 0^m.40.

En raison de sa forte pente, le Rhône roule ses eaux avec une grande vitesse depuis Lyon jusqu'à Beaucaire; cette vitesse, variable selon la force des eaux, est, à l'époque de l'étiage, de 1^m.00 à 2^m.00 par seconde, et à l'époque des hautes eaux, de 2^m.00 à 3^m.00. Voici à peu près comment varie la vitesse moyenne en bonnes eaux (2).

De Lyon à Tain elle croît progressivement de 1^m.50 à 2^m.00 par seconde;

De Tain à la Voulte elle passe de 2^m.50 à 3^m.00;

De la Voulte à Saint-Esprit elle descend à environ 2^m.35;

(2) Je dois à l'obligeance de M. l'ingénieur en chef O'Brien la communication des diverses pentes et vitesses du Rhône.

Enfin, de Saint-Esprit à Avignon elle n'est plus que de 1^m.15.

Le volume des eaux du Rhône en étiage peut être estimé à Lyon à 400^m·c.00 par seconde, tandis que celui des eaux de la Saône est d'environ 80. Quant à la profondeur du Rhône entre Lyon et Beaucaire, M. l'ingénieur en chef Mondot de Lagorce dit dans un mémoire récemment publié, qu'il est rare d'y rencontrer moins de 0^m.80 d'eau, que c'est seulement sur environ 38 kilomètres que cette profondeur est de moins de 2 mètres, et que l'on trouve naturellement en tout temps plus de 2 mètres sur tout le reste.

Les eaux du Rhône sont au plus bas dans les mois d'hiver pendant les froids qui retiennent l'eau des sources à l'état de glaces ou de neiges. Elles descendent alors au zéro de l'échelle du pont de la Mulatière et correspondent à une hauteur de 162 mètres au-dessus du niveau de la Méditerranée. A cette époque il y a à peine 0^m.60 d'eau sur quelques hauts fonds; on espère d'ailleurs qu'en réunissant toutes les eaux du fleuve dans un seul lit encaissé et proportionné à leur volume, et qu'en barrant à cet effet les bras secondaires, on pourra obtenir partout au moins 1^m.00 de hauteur d'eau, ce qui suffira pour la navigation. Ces travaux ont été commencés, mais marchent avec beaucoup moins d'activité qu'il ne serait à désirer en raison de l'importance qu'ils doivent avoir.

Les crues du Rhône ont lieu en été par suite de la fonte des neiges; elles s'élèvent alors moyennement de 5 mètres au-dessus de l'étiage, mais n'interrompraient point la navigation sans les obstacles qu'opposent alors à celle-ci le pont d'Avignon et quelques-uns des ponts suspendus. Le pont d'Avignon, construit en bois sur pilotis, présente des arches extrêmement étroites sous lesquelles il est impossible de passer dès que les eaux sont un peu hautes, et il faudrait, comme on l'a déjà demandé, élargir le passage

sur un point en formant une seule arche de deux arches contiguës. Les tambours des bateaux à vapeur s'élevant de 4 mètres à 5 mètres au-dessus de la ligne de flottaison, les tabliers des ponts suspendus établis sur le Rhône devraient tous avoir une hauteur minimum de 5 mètres au-dessus des plus hautes eaux, tandis que plusieurs d'entre eux n'ont que 2 mètres d'élévation, et qu'aucun n'a cette hauteur de 5 mètres à laquelle ils devraient tous être portés. L'effet des grosses eaux du Rhône est d'ailleurs de former par places des bancs de graviers qui font que ce fleuve n'offre pas un bassin constant à la navigation, et qu'il exigerait quelques travaux d'entretien.

Ainsi, par suite des dernières inondations de l'hiver, de semblables obstacles se sont formés un peu au-dessous de Lyon et près de Tain, et des dragages seraient ici nécessaires. Il me paraît du reste que pour des rivières aussi importantes, il conviendrait d'organiser, comme pour les routes, un service régulier d'entretien.

On voit par ce qui précède que les hautes et basses eaux ont lieu à des époques bien différentes sur le Rhône et sur la Saône; ceci tient d'ailleurs à la diversité d'origine des sources qui alimentent ces deux rivières, et doit obliger à mener simultanément les travaux d'amélioration de la Saône et du Rhône, afin que la navigation à la vapeur soit possible en tout temps dans toute la distance de Châlon à Beaucaire. La différence d'inclinaison des deux vallées fait aussi que les crues produites sur le Rhône arrivent à Lyon en moins de vingt-quatre heures et s'écoulent très-promp-tement, tandis que celles de la Saône n'arrivent qu'au bout de quelques jours et durent plus longtemps. M. Mondot de Lagorce fait observer à ce sujet que les pluies prolongées font seules coïncider les hautes eaux, comme les chaleurs très-prolongées après la fonte des neiges font seules coïncider les deux étiages; et il remarque que l'année 1840 vient de présenter cette double coïncidence de séche-

resse et d'inondation à des degrés d'intensité dont la mémoire des hommes n'avait pas conservé de souvenirs, et dont il paraît même que l'histoire n'offrait pas d'exemple.

La différence du régime de la Saône et du Rhône a fait apporter aussi de grandes différences dans le mode d'organisation des navigations à la vapeur qui ont été établies sur ces deux rivières. Sur la Saône on a vu de suite la possibilité de remonter avec une vitesse suffisante le faible courant des eaux au moyen de machines peu puissantes et peu coûteuses, et d'établir avec avantage un service spécial pour les voyageurs, tandis que sur le Rhône au contraire on a entrevu tout d'abord la nécessité d'employer à grands frais de fortes machines qui pussent vaincre la grande rapidité du fleuve, ainsi que la grande difficulté, sinon l'impossibilité de remonter assez vite pour pouvoir ramener des voyageurs. On dut dès lors s'organiser ici pour opérer le transport des marchandises sur lesquelles il devait y avoir beaucoup à gagner, et se contenter de faire les dispositions nécessaires pour transporter aussi à la descente les voyageurs que leurs affaires appelleraient dans le midi. Le résumé succinct que nous allons présenter des progrès déjà faits dans la navigation à la vapeur sur le Bas-Rhône, prouvera que les choses ont bien changé depuis son origine, et que si le transport des marchandises est toujours l'objet principal, celui des voyageurs commence à prendre de l'importance et mérite bien qu'on fasse quelque chose en sa faveur.

Les premières tentatives de navigation à la vapeur sur le Rhône remontent à 1827 (3). Elles furent pendant quelques années complètement infructueuses. Il fallait, pour réussir, employer des bateaux portant beaucoup, calant peu et

(3) Les renseignements consignés ici sur les dimensions et la marche des différents bateaux à vapeur du Rhône m'ont été fournis, partie par MM. Pigeon, ingénieur des mines, et Pelletier, garde-mines à Lyon et partie par MM. Schneider, Bonnardel et Manby.

allant vite ; or, ici comme sur la Saône on fit d'abord usage de machines à basse pression et condensation et de faible puissance, ainsi que de coques lourdes à formes courtes et larges ; il n'est pas dès lors extraordinaire qu'on ait été longtemps à atteindre le but.

En 1829 la Compagnie générale s'organisa et fit construire le bateau *le Pionnier* ; elle lui donna une machine à basse pression de la force de 50 chevaux, et parvint à lui faire remonter le Rhône en employant l'aide de cabestans, de bœufs et de chevaux. Ce premier succès engagea à faire construire trois autres bateaux semblables auxquels on donna les noms de *la Ville-de-Lyon*, *la Ville-de-Valence* et *le Rhône*. Tous firent pendant cinq à six ans un service fort lent mais très-utile et qui était le commencement d'une ère nouvelle pour le commerce des transports. Ces bateaux faits en bois avaient environ 40^m.00 de longueur et 6^m.66 de largeur ; ils portaient chacun deux machines de 25 chevaux à basse pression et à balanciers, du système de Miller, avec chaudières rectangulaires à galeries. Ils tiraient à vide 0^m.80 et avec une charge de 30 à 35 tonneaux 1^m.00. Ils consumaient environ 6 kilogrammes de houille par heure et par force de cheval, descendaient de Lyon à Arles en seize à dix-huit heures et mettaient soixante-dix à quatre-vingts heures pour remonter d'Arles à Lyon. Un voyage, aller et retour, exigeait six jours.

Vers 1835 ces premiers bateaux furent successivement démolis et les machines placées dans d'autres coques en bois auxquelles on donna des dimensions un peu différentes. Ces nouveaux bateaux, encore existants, furent désignés sous les noms de *la Comète*, *la Flèche*, *l'Étoile* et *le Mercure*. Ils reçurent environ 45 mètres de longueur et 6 mètres de largeur, et prirent d'ailleurs à l'avant des formes un peu plus aiguës. Par ces modifications le tirant d'eau fut un peu diminué et avec le même chargement on parvint à faire sans cabestans ni chevaux le trajet d'Arles

à Lyon en cinquante à soixante heures. Dans ces bateaux , la vapeur a été maintenue à la pression de 1 atmosphère $\frac{1}{2}$; les pistons à vapeur ont 0^m.76 de diamètre et autant de course, ils battent de trente à quarante coups à la minute.

En 1838, on construisit encore , sur la force de 50 chevaux , le bateau *la Sirène* ; mais on lui donna une coque en fer bien découpée , et , par suite de ce changement , ce bateau , marchant dans les mêmes conditions de pression et de vitesse que les précédents, put remonter en quarante-cinq heures une charge de 40 tonneaux. Il est donc bien supérieur à ceux-ci , dont les coques en bois sont aujourd'hui très-imbibées d'eau et ployées sous les machines.

Plus tard , vers 1840, la même Compagnie générale fit construire les deux bateaux *le Jupiter* et *le Neptune*, chacun d'une force totale de 80 chevaux , et destinés à porter des chargements de 60 à 70 tonneaux. Les machines sont toujours doubles , à basse pression et du système Miller. *Le Jupiter*, construit en bois , a 50^m.00 de longueur et 6^m.00 de largeur ; il tire à vide 0^m.70, avec charge de 60 tonneaux 1^m.20; il descend de Lyon à Arles en treize heures , et remonte d'Arles à Lyon en quarante-cinq heures de marche. *Le Neptune*, construit en fer, a 58^m.00 de longueur et 6 mètres de largeur; il tire à vide 0^m.60, et , avec charge de 70 tonneaux , environ 1^m.00; descend en douze heures et remonte en quarante heures. Ce dernier bateau est le meilleur de ceux que possède la Compagnie générale , et les résultats qu'il donne n'ont été pendant longtemps dépassés par aucun des bateaux des deux compagnies qui , depuis 1838, sont venues, en employant des machines de même genre, parcourir avec la Compagnie générale la voie nouvelle que celle-ci avait ouverte.

Outre ces six bateaux , la Compagnie générale a encore *la Sylphide*, d'une force de 56 chevaux , et qui est destinée au service particulier de Valence; elle descend en six heures en s'arrêtant aux différents ports intermédiaires ,

et remonte en quinze heures. Cette remonte s'effectue en un seul jour pendant la belle saison ; en hiver elle ne pourrait se faire ainsi, mais en s'arrêtant alors à Tournon, on pourra faire, l'hiver comme l'été, le voyage de retour en un jour.

La compagnie de l'Aigle, formée en 1838, a monté successivement six bateaux en bois, de formes sveltes et élancées, et les a distingués les uns des autres par des numéros ; elle est d'ailleurs restée absolument dans les mêmes conditions que la Compagnie générale, et n'a fait faire aucun progrès au nouveau mode de navigation. Il en eût été certainement autrement, si ces bateaux eussent été construits en fer. *Les Aigles* n^{os} 1 et 4 ont reçu des machines à basse pression de la force totale de cinquante-six chevaux, et ne donnant pas d'autres résultats que les bateaux de même force de la Compagnie générale. Aujourd'hui, *l'Aigle* n^o 4 fait avec *la Sylphide* le service particulier de Valence. *Les Aigles* n^{os} 2, 3, 5 et 6 portent des machines de 80 chevaux et chargent 60 tonneaux ; ils ont 60 mètres de longueur, 6 mètres de largeur ; tirent à vide 0^m.70, avec charge 1^m.00 ; descendent en treize heures et remontent en quarante-cinq heures. Ils font le voyage entier dans quatre jours. Leur consommation en combustible est de 4 kilogrammes par heure et par force de cheval ; les pistons ont 0^m.94 de diamètre, 0^m.91 de course, et une vitesse de 35 coups à la minute.

Un nouvel *Aigle* est apparu, il y a peu de temps, sur le Rhône, arrivant d'Angleterre. Ce bateau, construit en fer, est à moyenne pression et à cylindres oscillants ; la force doit dépasser 100 chevaux ; il n'a du reste pas encore navigué, et aucun résultat pratique ne peut être cité à son égard.

La compagnie des Papins, formée en 1839, a monté six bateaux en fer qui sont également distingués par des numéros. Elle fait généralement usage de machines de

forces peu différentes de celles employées par la compagnie de l'Aigle, porte des chargements proportionnellement aussi forts, ne gagne encore rien en vitesse, mais diminue le calage et peut mieux naviguer en basses eaux.

Ainsi, les *Papins* n^{os} 1 à 4 reçoivent des machines de Maudslay à basse pression et à balanciers, de la force de 70 chevaux, avec chaudières rectangulaires, pistons de 0^m.86 de diamètre, 0^m.91 de course, et vitesse de trente à quarante coups à la minute. On leur donne 56^m.00 de longueur sur 6^m.00 de largeur; ils portent 45 à 50 tonneaux; tirent à vide 0^m.65, avec charge 0^m.85; descendent de Lyon à Arles en treize heures, et remontent en quarante-cinq à cinquante heures. Ils consomment aussi 4 kilogrammes de houille par heure et par force de cheval. Le *Papin* n^o 6 ne diffère pas par ses machines des n^{os} 2 et 4. Le *Papin* n^o 5 offre seul des différences; il reçoit une machine de 100 chevaux, toujours à basse pression, mais avec détente au $\frac{1}{2}$, et composée de deux cylindres à pistons de 1^m.25 de diamètre et 1 mètre de course, avec tiges, sans balanciers, qui sont guidées par deux tiges verticales, et reçoivent vingt-huit pulsations par minute. Construit sur 61 mètres de longueur et 7 mètres de largeur, il porte 65 tonneaux, tire à vide 0^m.65, avec charge 0^m.90, descend en quinze heures et remonte en quarante-huit heures. Ce dernier bateau donne d'ailleurs, comme on voit, des résultats inférieurs à ceux du *Neptune*, qui est de moindre force. Cela tenait du reste à ce qu'il avait des chaudières insuffisantes, qui dûrent plus tard être changées. Depuis lors il remonte plus de 100 tonneaux de charge en trente-cinq à trente-huit heures, mais seulement par de bonnes eaux, et donne l'idée du plus grand perfectionnement qui ait encore été introduit dans l'emploi de la basse pression.

En résumé, par l'emploi des machines à basse pression, la Compagnie générale est parvenue à vaincre toutes les difficultés qu'opposait le Rhône à la navigation à la

vapeur ; elle a résolu la question du transport des marchandises par cette voie , et a remplacé avec avantage une partie du halage par chevaux , qui devra bientôt succomber entièrement devant le développement de cette navigation. Aujourd'hui , ses bateaux à vapeur remontent d'Arles à Lyon en quarante-cinq heures de marche avec un chargement de 60 à 70 tonneaux , et les transports de Marseille à Arles s'effectuant en quelques heures par d'autres bateaux à vapeur disposés pour la mer , elle peut rendre la marchandise de Marseille à Lyon en quatre jours , tandis que le halage par chevaux exige de trente à trente-cinq jours pour la seule remonte du Rhône. Cette compagnie n'a d'ailleurs pu arriver à une vitesse suffisante pour convenir à la remonte des voyageurs , et les compagnies des *Aigles* et des *Papins* , qui se sont généralement servies de machines du même genre , sont restées très-longtemps sans mieux faire sous ce rapport. Si donc d'autres compagnies n'étaient venues monter des bateaux dans des systèmes différents , on n'eût pu parvenir à organiser un service régulier de paquebots à vapeur sur le Rhône.

La première compagnie qui ait cherché à remplacer les machines à basse pression lourdes et encombrantes de Miller , par d'autres plus convenables pour un fleuve à faible tirant d'eau , est celle du *Sirius*. Celle-ci songea d'abord à employer des machines à haute pression , sans condensation ni détente , et des chaudières tubulaires qui occupent moins de place que toutes les autres , et qui réunissent à la légèreté une surface de chauffe considérable. Elle adopta en outre la disposition des cylindres inclinés , qui permettent d'avoir de grandes courses et de guider , avec des parallélogrammes articulés , la tige du piston et les tiges parallèles des pompes d'épuisement et d'alimentation.

Dès 1838 , cette compagnie fit construire dans ce système les bateaux en fer le *Sirius* n° 1 et le *Sirius* n° 3.

Le Sirius n° 1 a 57^m.33 de longueur, et 6^m.66 de largeur; il porte deux machines de Édouard Bury, à cylindres inclinés, travaillant à la pression de 5 atmosphères et donnant ensemble une force totale de 90 chevaux. La vapeur y est produite par des chaudières tubulaires semblables aux chaudières de locomotives; ces chaudières sont chauffées au coke, et le tirage y est activé par la vapeur. Ce bateau tire à vide 0^m.60, et, chargé de 90 tonnes, 1^m.20; il descend en douze heures de Lyon à Arles et remonte en quarante à quarante-deux heures. Il fait d'ailleurs une énorme consommation de combustible, qui ne va pas à moins de 8 à 10 kilogrammes par heure et force de cheval.

Le Sirius n° 3 a 66^m.00 de longueur, et 6^m.66 de largeur; il porte deux machines de Édouard Bury, à cylindres inclinés, travaillant également à 5 atmosphères, et donnant ensemble une force de 100 chevaux. Ce bateau tire à vide 0^m.60, et, avec 100 tonnes, 1^m.15. Il descend en douze heures et remonte en quarante-deux heures; sa consommation en combustible est encore énorme.

L'emploi de la vapeur à haute pression a donc conduit à ce résultat que, par le moyen de machines plus fortes que celles jusqu'ici généralement usitées, on a pu porter des poids proportionnellement plus lourds, sans augmenter le tirant d'eau du bateau. La vitesse n'a pas d'ailleurs été augmentée, on a peine encore dans ce système à produire toute la quantité de vapeur qui est nécessaire, et ce n'est qu'en dépensant énormément en combustible que l'on y parvient.

La compagnie des *Sirius*, après avoir acquis cette expérience, fit établir deux autres bateaux également en fer, savoir *les Sirius* 2 et 4, avec machines à moyenne pression, détente et condensation, et porta de suite la force de ces machines à 180 chevaux. Elle employa toujours des chaudières tubulaires, mais avec ventilateur, pour activer le

tirage, et c'est avec ces derniers bateaux qu'elle a enfin fait faire de grands progrès à la navigation à la vapeur sur le Bas-Rhône.

Le Sirius n° 2 a 56^m.66 de longueur, et 6^m.66 de largeur; il porte deux machines à cylindres inclinés de 0^m.711 de diamètre, et 1^m.37 de longueur de course, dans lesquels la vapeur à 4 atmosphères, introduite à l'aide de tiroirs, est détendue à volonté au $\frac{1}{2}$ ou à la $\frac{1}{3}$ de sa course, puis condensée. Les pistons métalliques battent trente coups à la minute. La pompe à air est parallèle au cylindre, et, sur la tige de son piston, est placée la pompe alimentaire. Les chaudières, au nombre de deux, ont 3^m.25 de longueur et 1^m.30 de diamètre; elles renferment quatre-vingt-treize tubes en cuivre de 0^m.07. La boîte à feu est ronde, en fer soudé; au-dessus de cette boîte à feu, il y a une chambre à vapeur qui s'élève à 1^m.83 au-dessus du niveau de l'eau. Le tirage se fait au moyen d'un ventilateur aspirant qui a 1^m.066 de diamètre et 0^m.61 de largeur. Ce ventilateur est mu par la machine ou par une petite machine indépendante, et fait 800 ou 1 000 révolutions par minute. Les roues ont 5^m.20 de diamètre, ou 2^m.40 de largeur. Les palettes, au nombre de quinze, ont 0^m.56 de hauteur; ces roues sont placées aux $\frac{1}{3}$ de la longueur du bateau; elles sont légèrement coniques et divergent vers l'intérieur. Ce bateau tire à vide 0^m.60, et, avec charge de 100 tonneaux, 1^m.15. Il descend en onze heures de Lyon à Arles, remonte en trente-cinq à trente-six heures, d'Arles à Lyon, et ne consomme dans tout le voyage qu'environ 30 000 kilogrammes de coke, soit 4 kilogrammes par heure et par force de cheval. Il fait le plus souvent le voyage entier en trois jours. On voit que ce bateau gagne beaucoup en vitesse sur tous les autres, et qu'il démontre la possibilité d'avoir un service régulier pour les voyageurs. Comme il ne lui faut en effet que vingt-huit à trente heures pour remonter d'Avignon à Lyon, il

peut déjà faire en tout temps cette remonte en deux jours. Il cale à la vérité beaucoup trop pour pouvoir naviguer en très-basses eaux, mais cela tient à ce que la forme de sa coque n'est pas la plus convenable.

Le Sirius n° 4 a été établi sur d'autres dimensions : ses machines font une révolution de plus par minute que celles du n° 2. Il devait remonter 125 tonneaux dans un moindre temps avec un tirant d'eau de 1^m.00 au plus ; mais il n'a pas tenu tout ce qu'on en attendait, et *le Sirius* n° 2 continue à être le bateau le plus rapide de cette compagnie.

En 1842, la compagnie des *Sirius* mal administrée a cessé son service, et depuis lors tous ses bateaux sont restés au port, à l'exception du n° 2 qui avait été cédé à la Compagnie générale comme garantie d'un prêt, et qui a fait encore quelques voyages à de longs intervalles.

En 1840, la maison Bonnardel frères et Four, de Lyon, est venue monter une nouvelle concurrence, et elle a suivi la voie de perfectionnement qui avait été ouverte par la compagnie des *Sirius*, en faisant choix de machines à moyenne pression, détente et condensation. Elle a d'ailleurs donné un excellent exemple en s'affranchissant de l'intervention des Anglais, et en confiant à l'établissement du Creuzot la construction des coques et machines de quatre grands bateaux de la force de 80 et 100 chevaux. On va voir par ce qui suit qu'elle n'a qu'à se féliciter d'avoir pris ce parti, et que son exemple mérite d'être suivi.

Les deux premiers bateaux établis pour cette maison, et qui ont commencé leur service en mars dernier sont chacun de la force de 80 chevaux, et portent les noms de *Crocodile* et de *Marsouin*. Ces bateaux, montés à Chalon sur les dimensions et lignes de construction qui ont paru le plus convenables aux constructeurs pour porter la charge et obtenir la vitesse qui étaient garanties par le marché, ont 60^m.00 de longueur, 5^m.80 de largeur et 2^m.30 de creux. On leur a donné pour section transversale un rec-

tangle à angles inférieurs légèrement arrondis, et on a terminé la proue et la poupe par des surfaces à double courbure, qui offrent le moins de résistance à l'eau. Ces coques sont composées de tôle de 0^m.005 d'épaisseur dans la partie inférieure, et 0^m.003 dans le haut, avec courbes en fer d'angles de 0^m.008 à 0^m.010 d'épaisseur, et 0^m.14 de développement, espacées de 0^m.80 d'axe en axe. Ces courbes sont d'ailleurs reliées ensemble par des carlingues en bois qui ont 0^m.25 sur 0^m.30 d'équarrissage sous les machines, et 0^m.30 sur 0^m.20 dans le reste de leur longueur. La cale est divisée sur sa longueur en sept compartiments, au moyen de six cloisons, dont quatre en tôle et deux en bois. Le pont est en tôle de 0^m.002 d'épaisseur; des raisons de légèreté et d'économie d'entretien ont décidé à adopter ces ponts en fer, quelque incommodes qu'ils soient pour les voyageurs et pour la manœuvre du bateau, attendu que les marchandises sont plus sûrement garanties de l'humidité que sous des ponts en sapin que le soleil fait disjoindre promptement.

L'axe des roues à aubes est placé à 24^m.00 de la proue et à 36^m.00 de la poupe; ces roues ont 4^m.50 de diamètre, et 2^m.30 de largeur; elles sont composées de trois fermes en fer, avec palettes en bois divisées en deux, suivant la longueur, et disposées en retraite les unes des autres, de manière à diviser ainsi les chocs. Cette hauteur de roues est un inconvénient dans une rivière peu profonde et traversée par plusieurs ponts très-bas; mais le rapport entre la course des pistons et le diamètre de ces roues déterminait à l'avance ces dimensions; on y a d'ailleurs gagné l'avantage d'atteindre l'eau sous un angle plus favorable, et celui d'être moins affecté par les différences d'immersion occasionnées par le chargement du bateau.

Le mouvement est donné aux roues à aubes par deux machines accouplées, à double effet, marchant à la pression de 2 à 3 atmosphères, avec condensation et détente

facultative au $\frac{1}{2}$ ou au $\frac{1}{4}$ de la course. Les cylindres à vapeur sont inclinés, les pistons ont 0^m.60 de diamètre et 1^m.50 de course; ils battent vingt-quatre à trente-deux coups par minute; leurs tiges sont reliées directement aux manivelles par l'intermédiaire de fortes bielles. La pompe à air est placée verticalement, et reçoit son mouvement de la bielle, au moyen d'un levier coudé et d'un balancier. Cette pompe a 0^m.10 de diamètre, et 0^m.30 de course. L'ensemble de ces machines occupe un grand espace, répartit la charge sur une grande longueur et contribue pour beaucoup à la rigidité des assemblages du fond.

Des tiroirs mus par un excentrique servent à introduire la vapeur dans les cylindres où la détente est produite par des cames fixées sur l'arbre des roues, et agissant sur une soupape à double portée.

Cette vapeur est fournie par trois chaudières tubulaires en tôle de 0^m.007 à 0^m.009 d'épaisseur, lesquelles communiquent entre elles par le haut. Chaque chaudière se compose d'un foyer rectangulaire et d'un corps de chaudière cylindrique de 4^m.50 de longueur et 1^m.05 de diamètre, lequel renferme dix-neuf tubes en cuivre de 0^m.13 de diamètre, et 0^m.002 $\frac{1}{2}$ à 0^m.003 d'épaisseur. Ces tubes servent de passage à la flamme du foyer, pour se rendre à la cheminée. On leur a donné un assez grand diamètre, afin qu'une cheminée d'une dimension ordinaire soit suffisante pour obtenir une bonne combustion. Les trois chaudières sont surmontées de trois tubes cylindriques horizontaux, et le foyer du milieu d'un tube cylindrique vertical, formant autant de réservoirs de vapeur. Les trois grilles forment ensemble une surface de 4^m.50, et la surface totale de chauffe, calculée en réduisant aux $\frac{2}{3}$ celle des cinquante-sept tubes en cuivre, est de 80 mètres carrés.

Les bateaux *le Crocodile* et *le Marsouin*, construits comme il vient d'être dit, tirent à vide 0^m.60, et, chargés

de 85 tonnes, 0^m.85 ; ils descendent en douze heures de Lyon à Arles, remontent en trente-quatre à trente-huit heures, et consomment chacun environ 30 000 kilogrammes de houille, dans un voyage complet qui prend trois jours à trois jours et demi ; le *Crocodile* gagne d'ailleurs de vitesse sur le *Marsouin*.

Les deux derniers bateaux, établis par MM. Bonnardel, sont ceux du *Mistral* et du *Sirocco*, qui sont construits dans le même système que le *Crocodile* et le *Marsouin*. Ils en diffèrent toutefois par les proportions, par la force des machines qui est de 100 chevaux, ainsi que par le mode de distribution de la vapeur, et par la disposition de la pompe à air et du condenseur. La distribution de vapeur ne se fait plus par des tiroirs, mais par des soupapes ; la pompe à air, parallèle au cylindre à vapeur, est placée au-dessous ; elle a une course égale à celle du piston à vapeur. Les dimensions des diverses parties de ces bateaux sont d'ailleurs les suivantes :

Coques en fer.	Longueur.	67 ^m .00
	Largeur.	5 ^m .80
	Creux.	2 ^m .40
Roues.	Diamètre.	5 ^m .25
	Largeur.	3 ^m .00
Cylindres.	Diamètre.	0 ^m .67
	Course.	1 ^m .75
	Vitesse.	30 coups.
Foyer.	Longueur.	1 ^m .60
	Largeur.	1 ^m .10
	Hauteur.	1 ^m .00
	Surface de grille.	5 ^m q.28
Chaudières	Longueur.	4 ^m .00
	Diamètre.	1 ^m .08
	23 tubes de 0 ^m .13.	
Réservoirs de vapeur.	Surface de chauffe réduite, 100 mètres carrés.	
	3 de 3 ^m .80 de longueur et 0 ^m .50 de diamètre.	
	1 de 2 ^m .50 de hauteur et 0 ^m .80 de diamètre.	

Les bateaux le *Mistral* et le *Sirocco* tirent à vide 0^m.68, et, avec une charge de 100 tonnes, 1^m.05. Ils présentent dans leur marche à peu près les mêmes vitesses que le *Crocodile* et le *Marsouin*, et consomment également à

peu près autant en combustible. *Le Sirocco* est aussi inférieur au *Mistral*.

On voit par ce qui précède que , avec des machines de force moitié moindre que celles employées par la compagnie des *Sirius*, mais consommant 6 kilogrammes de combustible par heure et force de cheval , au lieu de 4 kilogrammes , les bateaux de la compagnie Bonnardel portent les mêmes chargements de marchandises avec des tirants d'eau un peu plus faibles et des vitesses peu différentes ; qu'en somme , ces bateaux de construction française donnent des résultats très-satisfaisants et bien supérieurs à tous ceux des bateaux à basse pression , fournis par l'Angleterre , à l'exception du *Papin* n° 5 , qui a d'ailleurs sur eux le désavantage d'un plus fort tirant d'eau.

MM. Bonnardel auront bientôt deux autres nouveaux bateaux qui se construisent en ce moment à Châlon dans le chantier de MM. Schneider du Creusot. Ces bateaux se distinguent des précédents, en ce qu'ils n'auront chacun qu'une *seule machine* , laquelle sera à *cyindre horizontal*. Ces machines seront d'ailleurs établies sur le système de la moyenne pression , avec détente et condensation , et chacune d'elles aura une force de 100 chevaux.

En résumé, il existe sur le Bas-Rhône vingt-huit bateaux à vapeur d'une force totale de 2 288 chevaux , qui ont été établis par cinq compagnies différentes et font maintenant entre Lyon et Arles le transport des marchandises et des voyageurs. Cette navigation est arrivée à ce résultat , de pouvoir , avec des bateaux portant de fortes charges , descendre en dix heures et demie de Lyon à Beaucaire , et remonter en trente-deux à trente-quatre de Beaucaire à Lyon. Cette remonte s'effectue déjà régulièrement en deux jours par le *Sirius* n° 2 , le *Crocodile*, le *Mistral* et le *Papin* n° 5 , pendant toute la belle saison , et il est facile à ces mêmes bateaux de remonter en toute saison d'Avignon à Lyon dans le même temps. Or , ceci suffit déjà pour les

transports rapides de Marseille à Paris, dans la supposition que le chemin de fer de Marseille au Rhône sera prolongé jusqu'à Avignon. Ce chemin devant d'ailleurs être arrêté à Beaucaire, à sa jonction avec les chemins de Nîmes et de Montpellier, il reste encore à gagner par la navigation à la vapeur les deux heures qui séparent Beaucaire d'Avignon; mais il est bien certain qu'en ayant des bateaux uniquement destinés aux voyageurs, on n'aura pas de peine à obtenir ce surcroît de vitesse.

On objecte au reste contre cette organisation d'un service spécial pour les voyageurs, qui me paraît non-seulement possible, mais devoir être prochaine, on objecte, dis-je, les grands frais que l'on aurait à faire, ainsi que le peu de produits que l'on pourrait espérer en raison du petit nombre de voyageurs qui s'embarquent sur le Rhône, et de la grande concurrence que l'on rencontrerait toujours à la descente. Je répondrai d'abord que les frais ne seront pas aussi considérables qu'on pourrait le penser, ni les recettes obligées fort élevées; qu'il suffira en effet d'avoir quatre bateaux pour assurer ce service, et que les dépenses de main-d'œuvre, charbon et entretien, ne devant pas dépasser 1 800 francs par voyage d'aller et retour, des recettes de 2 100 francs paieront ces frais et couvriront convenablement les intérêts des capitaux engagés (4). Quant aux voyageurs, le nombre en a été jusqu'ici assez petit, en raison de la lenteur et de l'irrégularité des remotes; mais du moment où ces remotes se feront vite et régulièrement, on verra ce nombre augmenter. Les nouveaux bateaux partant de Beaucaire prendront certainement alors tous les voyageurs du midi pour Lyon, qui les préféreront aux diligences restant à peu près le même temps en route; et, à la descente, ces mêmes bateaux, sur lesquels on

(4) A la descente la concurrence a fait réduire les prix à 6 fr. aux premières et 4 fr. aux secondes, à la remonte on pourrait les porter à 15 fr. et 10 fr., taux inférieur à celui des messageries.

trouvera des commodités qui manquent généralement dans ceux faisant le transport des marchandises, recevront probablement encore beaucoup de passagers.

Nous pouvons donc assurer aujourd'hui que, dans l'état actuel des choses, le chemin de fer de Marseille au Rhône étant arrêté à Beaucaire, il sera facile d'établir sur ce fleuve un service de bateaux à vapeur spécialement destinés aux voyageurs, et remontant régulièrement en deux jours de Beaucaire à Lyon. Ce service, soumis aux mêmes mesures de police et de sûreté que le service des paquebots de la Saône offrira la même sécurité. Enfin, après l'achèvement des travaux que j'ai signalés comme indispensables à faire sur le Rhône, et dont l'administration des ponts et chaussées paraît disposée à presser la confection, cette navigation n'éprouvera plus d'interruption que par les glaces et les brouillards, c'est-à-dire pendant un mois au plus par an, et alors que l'on voyage aussi le moins. Pour ce temps de chômage, l'administration pourra d'ailleurs encore organiser un service de messageries.

CONCLUSION.

J'ai montré que la navigation à la vapeur, établie sur la Saône et le Rhône, se faisait déjà assez régulièrement, soit à la descente, soit à la remonte; qu'elle n'éprouverait plus que fort peu d'interruptions chaque année, après l'achèvement de travaux qui ne doivent être ni très-longes ni très-dispendieux; enfin qu'elle était arrivée, dans les deux sens, à une vitesse qui ne paraissait pas encore rendue à sa dernière limite, mais dont on pouvait cependant se contenter, pour relier cette navigation à deux tronçons de chemins de fer: l'un allant de Paris à Châlon, l'autre de Beaucaire à Marseille, et la faire ainsi servir à la communication rapide de Paris à Marseille.

Le calcul récapitulatif suivant donne une idée du temps

qu'exigeront alors les voyages faits par cette voie mixte de l'une à l'autre de ces deux grandes villes.

Le chemin de fer de Paris à Châlon aura environ cent lieues de développement, celui de Beaucaire à Marseille vingt-cinq : supposant sur ces chemins une vitesse moyenne de dix lieues à l'heure, le parcours du premier exigera dix heures, et celui du second deux heures et demie.

La distance de Châlon à Lyon est de trente-quatre lieues par la Saône, les paquebots à vapeur font aujourd'hui ce trajet en sept heures à la descente et en dix heures à la remonte. Il sera facile, avec des machines plus fortes, de gagner encore deux heures à la remonte.

Enfin la distance de Lyon à Beaucaire est de soixante-sept lieues; elle est parcourue actuellement en dix à onze heures à la descente, et en vingt-huit à trente heures à la remonte par les meilleurs bateaux à vapeur du Rhône.

Il en résulte que le voyage de Paris à Marseille, deux cent vingt-cinq lieues, se fera en trente-quatre à trente-cinq heures, et que l'on arrivera à Marseille à la fin du troisième jour, après avoir couché à Châlon et à Lyon, et après avoir pu disposer dans cette dernière ville d'une demi-journée pour faire ses affaires.

Le retour de Marseille exigera cinquante à cinquante-cinq heures; c'est le temps que mettaient, avant 1835, les bateaux à vapeur du Rhône, pour remonter d'Arles à Lyon. Il prendra quatre jours, et pourra encore permettre de disposer d'une demi-journée à Lyon, en organisant de cette ville un départ pour Châlon à l'heure de midi.

Châlon, ce 12 mars 1843.

N° 66.

RAILWAY ATMOSPHERIQUE,

Ou emploi de la pression atmosphérique comme force motrice sur les chemins de fer ().*

(Extrait de diverses publications anglaises.)

Par M. E. HÉRARD, Élève ingénieur des ponts et chaussées.

§ 1^{er}. Description du railway atmosphérique établi par MM. Clegg et Samuda, à Wormwood-Scrubs, près Londres.

Dans ce système de chemins de fer, Pl. 36, fig. 1, 4, le mouvement est communiqué au train, au moyen d'une conduite principale A, placée entre les rails et composée d'une suite de parties toutes d'une longueur convenable pour l'aspiration de l'air. Dans cette conduite, on opère le vide jusqu'à un certain degré, soit avec des machines à vapeur et des pompes à air disposées à divers intervalles le long du chemin, soit au moyen de l'eau employée comme force motrice, si la nature du pays le comporte.

(*) Tables de transformation des mesures anglaises en mesures françaises.

Nombres.	Pouces en centimètres.	Pieds en mètres.	Milles en kilomètres.	Pieds quarrés en mètres quarrés.
1	2.5400	0.3047945	1.6093	0.09290
2	5.0799	0.6095890	3.2186	0.18580
3	7.6199	0.9143835	4.8279	0.27870
4	10.1598	1.2197680	6.4373	0.37160
5	12.6998	1.5239724	8.0466	0.46450
6	15.2397	1.8287669	9.6559	0.55740
7	17.7797	2.1335614	11.2652	0.65030
8	20.3196	2.4383559	12.8745	0.74320
9	22.8596	2.7431504	14.4838	0.83610
10	25.4000	3.0479450	16.0930	0.92900

Voir la suite de la note page 48.

A chaque division sont adaptées des soupapes qui sont ouvertes par le train, à mesure qu'il avance, sans que pour cela il y ait arrêt ou diminution de vitesse. Un piston B, enveloppé d'une garniture en cuir et interceptant le passage de l'air, joue à frottement dans l'intérieur de la conduite (1). Il est attaché au waggon conducteur de chaque train, au moyen d'une plaque en fer C, *fig. 13*, qui glisse à travers une ouverture s'étendant sur toute la longueur

Suite des tables de transformation.

Nombres.	Pieds cubés en mètres cubés.	Livres en kilogrammes.	Tonnes en tonnes de 1000 kilogrammes.	Livres par pouce carré en kilogrammes par centimètre carré.
1	0.028314	0.4534148	1.015649	0.0702774
2	0.056628	0.9068296	2.031298	0.1405548
3	0.084942	1.3602444	3.046947	0.2108322
4	0.113256	1.8136592	4.062596	0.2811096
5	0.141570	2.2670740	5.078245	0.3513870
6	0.169884	2.7204888	6.093894	0.4216644
7	0.198198	2.1739036	7.109543	0.4919418
8	0.226512	3.6273184	8.125192	0.5622192
9	0.254826	3.0807332	9.140841	0.6324966
10	0.283140	4.5341480	10.156490	0.7027740

1 chain (= 22 yards = 4 poles or perches = $\frac{1}{10}$ furlong = $\frac{1}{80}$ mile) = 20^m.116437.

Notations et abréviations :

Cwt. Notation employée pour représenter le quintal, mesure de poids communément employée. Le mot anglais est *hundred-weight* (112 avoir du poids *pounds*), et la désignation Cwt se compose du chiffre romain C = 100, suivi de *wt*, abréviation du mot *weight*.

La valeur de cette mesure est égale à 50^{kg}.78246.

Liv. Livre sterling.

s. Shilling.

d. Pence (ou au singulier penny).

Liv. Livre.

(1) Lorsqu'on opère le vide dans la première division, on ouvre (par un moyen qui sera décrit plus loin) la soupape de séparation : tandis que le vide s'opère devant le piston, la pression atmosphérique agissant derrière le chasse en avant et avec lui le train qui lui est attaché.

de cette conduite à sa partie supérieure. Cette ouverture est fermée par une soupape G, formée d'une bande de cuir de la longueur de la conduite, serrée entre deux plaques de tôle découpées par morceaux juxtaposés ; la plaque supérieure est plus large que l'ouverture , et a pour but d'empêcher que l'air extérieur n'enfoncé la bande de cuir dans la conduite , lorsque le vide s'opère ; la plaque inférieure remplit la rainure lorsque la soupape est fermée , et , en terminant ainsi le cylindre dans sa partie supérieure , empêche que l'air ne dépasse le piston. Un des côtés de la bande de cuir est fortement serré au moyen de barres de fer *aa*, *fig. 10*, fixées par des boulons à vis à une pièce longitudinale *c*, faisant corps avec la conduite. Cette bande de cuir ainsi prise , étant naturellement flexible , compose une soupape à ressort comme dans les pompes ordinaires ; l'autre côté du cuir repose sur la conduite et forme l'un des côtés de l'auge F, que l'on remplit d'une composition faite avec de la cire d'abeille et du suif. Cette substance est solide à la température de l'atmosphère ; et elle devient liquide si on l'élève à quelques degrés au-dessus. Elle adhère à l'extrémité de la soupape qui forme l'un des côtés de l'auge , à la partie de la conduite qui forme l'autre , et établit ainsi un contact parfait entre ces deux pièces. A mesure que le piston avance , *fig. 13*, la soupape G doit être levée pour laisser un libre passage à la barre d'attache C. Ce mouvement s'effectue au moyen des quatre roues HHHH, *fig. 1 et 4*, fixées à la tige du piston, derrière lui ; ce soulèvement a pour but aussi de permettre à l'air de s'introduire librement derrière le piston et d'exercer sa pression. Quand la soupape est ainsi levée hors de l'auge , la composition qui la faisait adhérer à la conduite se trouve déchirée , et il faut alors rétablir le contact parfait : à cet effet , une autre roue en acier R, *fig. 8*, est attachée au waggon ; en roulant sur les plaques supérieures , aussitôt que la barre d'attache a passé , elle assure la fermeture

complète de la soupape. Un tube en cuivre ou chauffeur (*heater*) N, long d'environ 5 pieds et rempli de charbon de bois en combustion, est aussi fixé à la partie inférieure du waggon : en passant au-dessus de la composition que la soupape, en se levant, avait déchirée, il la liquéfie ; celle-ci, par le refroidissement, redevient solide et ferme hermétiquement la soupape comme avant. Chaque train en passant, laisse ainsi la conduite dans un état convenable pour recevoir le train suivant. Un couvercle I, composé de lames minces de fer d'environ 5 pieds de long, et formant ressort au moyen d'une bande de cuir, se trouve placé au-dessus de la soupape, et sert à la mettre à l'abri de la neige et de la pluie ; l'extrémité de chaque lame passe sous la suivante, dans la direction du mouvement du piston, assurant ainsi le mouvement de chacune successivement. Le soulèvement du couvercle s'effectue au moyen des roues D, *fig. 13*, fixées sous le waggon conducteur.

La *fig. 7* représente la soupape de sortie, autrement dit celle placée à l'extrémité la plus voisine de la machine à vapeur ; cette soupape est ouverte par la compression de l'air qu'occasionne le piston, après qu'il a dépassé la branche communiquant avec la pompe à air. Cette soupape Kc tombe sur la barre de fer *ib*, dans la position Kc' ; puis, aussitôt que la tige du piston B est sortie de la conduite, un crochet fixé au derrière du waggon conducteur, et hors de l'alignement de la conduite, frappe la tige *ia* qui imprime, alors à la barre *ib* un mouvement de rotation autour de l'axe *ii*. La barre *ib* relève ainsi brusquement la soupape Kc, qui va frapper contre l'ouverture de la conduite et y adhère, attendu que la machine fonctionnant toujours et que le vide s'opérant dans la conduite, la pression extérieure la maintient fortement contre cette ouverture, qu'elle ferme parfaitement. Les lignes ponctuées représentent une position intermédiaire des tiges et de la soupape : un homme de garde remet le levier *aib* dans sa position normale.

La *fig. 9* représente la soupape d'entrée. La flèche indique la direction du train. Le vide s'opère dans la partie D, la conduite est prolongée de l'autre côté seulement pour permettre au piston d'y entrer avant que la soupape soit ouverte. A l'un des côtés de la conduite est fixée une boîte demi-circulaire AB, divisée en deux compartiments par une séparation *aa*, à travers laquelle est une ouverture circulaire; sur le haut de la boîte sont deux petites ouvertures *oo'*, *fig. 11* et *12* (une de chaque côté de l'écran), munies d'une boîte (ou tiroir) à coulisses, au moyen de laquelle l'une ou l'autre de ces deux ouvertures, ou toutes les deux peuvent être couvertes à volonté. Dans la boîte AB sont deux soupapes *b* et *c* (*b* est la plus grande des deux), unies par le bras *ddd* l'une à l'autre, et à un axe vertical *e*, autour duquel elles peuvent décrire horizontalement un arc d'environ 100 degrés. Lorsque la pompe doit commencer à fonctionner, les soupapes sont placées, à la main ou par tout autre moyen, dans la position que représente la *fig. 9*, *b* remplissant l'ouverture de l'écran, *c* fermant la conduite. La boîte à coulisses couvre le trou *o* du côté A, laissant l'autre ouvert pendant que la raréfaction s'opère : D et A sont ainsi dans le vide, tandis que B et C sont ouverts à l'air. Il y a donc la même pression exercée sur chaque ponce carré de *b* et de *c*, mais *b* présentant plus de surface que *c*, toutes les deux restent fermées, par suite de la pression prépondérante sur *b*. Le train, en approchant, déplace (2) la boîte à coulisses, de manière qu'elle couvre les deux trous *oo'*; il s'établit alors une communication au moyen de laquelle l'air de la partie B se précipite dans le tuyau D, si bien que A et B sont maintenant tous deux

(2) Ce mouvement de la boîte peut être effectué par le train lui-même : supposons, *fig 3*, le levier coudé *ckef*; soit *ab* la direction du train; la roue du waggon écarte au point *c* le bras *ck*, il y a alors autour de l'axe *k* un mouvement de rotation qui fait marcher la tige *ef* dans la direction *fe*, et par suite la boîte à coulisses liée à cette tige.

dans le vide, et la pression ayant diminué sur *b*, celle qui presse sur *c* chasse cette soupape en arrière, et permet au piston de passer. La soupape *b* consiste en une partie sphérique, remplissant une cavité de même forme; la soupape *c* est plate, elle ferme en s'appuyant sur une retraite de la conduite.

La conduite principale, comme on peut le voir dans la *fig. 5*, se compose d'une suite de tuyaux réunis par des assemblages à emboîtement; on remplit l'espace annulaire vide d'une composition semi-fluide qui arrête le passage de l'air.

Lorsqu'il est nécessaire d'arrêter ou de retarder le train, outre l'emploi du frein ordinaire, le conducteur peut ouvrir, dans l'intérieur du piston moteur, une soupape par laquelle l'air extérieur s'introduit en avant du piston et détruit la force motrice.

Dans les localités où l'on pourrait avoir de l'eau en quantité suffisante et une chute convenable, on pourrait se passer de *machines* : on construirait une ou plusieurs citernes (présentant en somme une capacité deux fois égale à celle de la partie de conduite dans laquelle on veut raréfier l'air); on les remplirait d'eau, et on la laisserait s'écouler par un tuyau vertical d'environ 32 pieds de haut; l'air contenu dans le tuyau se répandrait alors dans les citernes. Lorsque la moitié de la quantité d'eau se serait écoulée, on aurait fait le vide à moitié dans la conduite, puisque l'air occuperait maintenant un espace double; et l'autre moitié, s'écoulant à mesure que le train et le piston avanceraient, l'espace augmenterait dans les citernes comme il diminuerait dans le tuyau, et on aurait ainsi le même degré de raréfaction pendant tout le temps que le train mettrait à passer, quelle que fût sa vitesse.

§ 2. Expériences faites à Wormwood-Scrubs.

Le nouveau système est mis en pratique à Wormwood-

Scrubs, près Londres, entre le Great-Western-Railway et Uxbridge-Road, sur un plan incliné composé de deux parties, l'une à $\frac{1}{120}$ d'inclinaison, l'autre $\frac{1}{115}$.

La conduite, dans laquelle on fait le vide, a un demi-mille de longueur et un diamètre intérieur de 9 pouces.

La pompe aspirante a 37 pouces $\frac{1}{2}$ de diamètre, le piston 22 pouces $\frac{1}{2}$ de course ; elle est mise en mouvement par une machine à vapeur de la force de 16 chevaux.

Pour faire les expériences, on avait disposé sur toute la ligne, de 2 chains en 2 chains (mesure anglaise), une série de poteaux ; on avait aussi placé à chaque extrémité de la conduite un baromètre d'épreuve, *fig. 6*, afin d'observer le degré de raréfaction de l'air dans la conduite. Au bout d'une minute, on obtenait un degré tel que la colonne de mercure (équilibrant, avec l'air qui restait dans la conduite, la pression atmosphérique), marquait 18 pouces de hauteur, et les deux baromètres indiquaient le même degré au même instant.

Le tableau suivant met en évidence les résultats obtenus pendant six mois. (Voir page 54.)

DATES des expériences.	NOMBRE de voyageurs.	POIDS total transporté.	VITESSE maximum exprimée en milles par heure.	DÉGRÉ du vide exprimé en pouces de mercure.
		tonn. cwt.		
11 juin 1840.	23	8 0	22 $\frac{1}{2}$	18
	23	8 0	22 $\frac{1}{2}$	16
	15	7 10	20	19
	21	7 18	22 $\frac{1}{2}$	19
	44	9 10	22 $\frac{1}{2}$	20
	58	10 7	22 $\frac{1}{2}$	19
	57	10 6	18	19
	25	5 9	30	18 $\frac{1}{2}$
	75	11 10	22 $\frac{1}{2}$	17
	24	8 2	22 $\frac{1}{2}$	15
	13	4 12	30	16
	9	7 2	22 $\frac{1}{2}$	16 $\frac{1}{2}$
29 juin 1840.	28	8 2	30	
	28	5 13	30	
	28	5 13	36	
24 juillet 1840.	21	7 18	30	22
	15	4 15	30	22
	8	4 6	30	23
	15	5 0	30	21 $\frac{1}{2}$
8 août 1840.	16	5 1	30	21
	18 et du lest.	13 10	18	20 $\frac{1}{2}$
	18	5 4	30	20 $\frac{1}{2}$
10 août 1840.	15	5 0	30	20
	17 et du lest.	13 10	20	22
	10	4 13	30	22
11 août 1840.	28	5 17	30	20 $\frac{1}{2}$
	25	5 13	30	20
	14	5 0	30	20
24 septembre 1840.	23	5 10	36	
6 novembre 1840.	17	5 3	36	21
	16	5 0	45	23 $\frac{1}{2}$
9 décembre 1840.	11	4 14	45	23
15 décembre 1840.	15	5 0	36	22 $\frac{1}{2}$
6 janvier 1841.	10	4 13	36	22 $\frac{1}{2}$
19 février 1841.	8	4 11	45	23 $\frac{1}{2}$

M. Samuda, d'après les résultats qui ont été obtenus, pense qu'une conduite de 18 pouces de diamètre sera suffisamment large pour un transport de 5 000 tonnes par jour, savoir 2 500 tonnes dans chaque direction, en supposant sur la ligne une pente moyenne de 1 pour 100 (3).

(3) Voici le calcul approché sur lequel il se fonde :

Dans un tuyau de 18 pouces de diamètre, l'aire du piston sera d'en-

En examinant les dates indiquées dans le tableau précédent, on peut voir que les épreuves ont également réussi pendant toutes les saisons, au milieu des chaleurs de l'été et de l'hiver le plus rigoureux que l'on ait eu depuis bien des années. Pendant tout le temps, il n'y a pas eu le moindre dérangement dans le système, et le départ des trains n'a jamais été arrêté ou même retardé d'une minute. Au contraire, le tuyau et la soupape longitudinale se sont

viron 254 pouces² carrés; supposons qu'on opère le vide à un degré correspondant à 16 pouces de mercure dans le tube barométrique (ce degré paraît être le plus économique; on pourrait du reste disposer le système de façon à obtenir un plus haut degré de raréfaction, dans le cas où l'on aurait à tirer des convois plus lourds qu'à l'ordinaire); cette raréfaction de l'air d'un côté produira de l'autre côté, sur le piston, une pression d'environ 8 liv. par pouce carré, ce qui donnera une force de traction de 2032 liv., capable de tirer un train de 45 tonnes à une vitesse de 30 milles par heure, sur un plan incliné à 1 p. 100. Une conduite de 2 milles $\frac{1}{2}$ de long contiendra 23 324 pieds cubes d'air, dont les $\frac{16}{10}$ (30 pouces est la hauteur barométrique en pouces de mercure) feront 12 439 pieds cubes à aspirer, pour produire un vide correspondant à la pression de 8 liv. par pouce carré. A cet effet, si on donne à la pompe à air 5 pieds 7 pouces de diamètre, sa section présentera 24^{pl} 4.7; et si son piston parcourt 220 pieds par minute, il aspirera $24.7 \times 220 = 5434$ pieds cubes par minute au commencement, et seulement 2536 à la fin, lorsque le vide aura été fait à 16 pouces de mercure: ce qui fait une aspiration moyenne de 3985 pieds cubes par minute. Par conséquent, pour arriver à la raréfaction demandée, il

faut un temps égal à $\frac{12439}{3985} = 3^m.1$; et, comme l'air du piston de la

pompe est 14 fois celle de la section du tuyau, la vitesse du piston dans le tuyau sera 14 fois celle du piston dans la pompe, ou $220 \times 14 = 3080$ pieds par minute, c'est-à-dire 35 milles par heure; mais, vu l'action imparfaite de la pompe à air, les filtrations, etc., il faut réduire cette vitesse à 30 milles par heure, et le temps nécessaire à l'aspiration doit être porté à 4 minutes. Le train mettra donc 5 minutes à parcourir une division de la conduite de 2 milles $\frac{1}{2}$ de long; cette division pourra être remise en état d'en recevoir un autre en 4 minutes au plus, ce qui fait en tout 9 minutes. On peut donc considérer qu'un intervalle de 15 minutes entre chaque train est amplement suffisant, et, en supposant que la journée de travail soit de 14 heures, on peut faire partir par jour dans chaque direction 56 trains, ce qui fait un transport de 2 500 tonnes, ou en somme 5 000 tonnes. La puissance des machines fixes, destinées à opérer ce travail, sera d'environ 110 chevaux, ce qui fait 22 chevaux par mille dans chaque direction.

améliorés à la longue ; la composition a de mieux en mieux adhéré , à tel point qu'au mois de juin 1840 on ne pouvait obtenir qu'un vide représenté par une colonne de mercure ayant de 19 à 20 pouces de hauteur (l'expression est peut-être inexacte et pourrait induire en erreur : cette hauteur de mercure se rapporte à la colonne de mercure , qui conjointement avec l'air restant dans la conduite, fait équilibre à la pression atmosphérique) , tandis que maintenant on obtient de 22 à 24 , et parfois 25. La vitesse qui , dans le principe était de 20 à 30 milles par heure , atteint maintenant de 30 à 45. L'entretien qu'ont réclamé pendant tout ce temps la conduite et la soupape , a consisté uniquement dans les soins qu'apportait , une heure environ chaque semaine , un simple surveillant. La composition n'a jamais été changée dans la rainure de la soupape longitudinale , on a seulement eu besoin d'en ajouter 56 liv. , destinées à remplacer les pertes ; le prix de cette composition est de 1 shilling par livre.

§ 3. Objections au nouveau système.

On a fait aux inventeurs , sur leur système , plusieurs objections , dont voici les principales :

On a prétendu :

1° Que les expériences faites à Wormwood-Scrubs , ne prouvaient pas la possibilité d'appliquer ce système à des chemins de fer de longue étendue.

2° Que le nombre des machines stationnaires et celui des établissements nécessaires seraient une objection sous le point de vue de la dépense et des chances d'accident.

3° Qu'un accident survenant à l'une des stations ou à quelque point de la conduite , la circulation se trouverait interrompue sur toute la ligne. Quelques personnes ont été même jusqu'à prétendre que le moindre trou , fût-il petit comme la tête d'une épingle , empêcherait l'action de la machine , et qu'il faudrait peut-être interrompre la

circulation toute une journée, pendant qu'on ferait des recherches infructueuses pour découvrir la fissure.

Voici comment M. Samuda répond à ces objections :

1° Toutes les fois qu'un train s'est mis en marche, le vide a été préalablement fait dans la conduite, à 18 pouces de mercure, ou au-dessus. Le temps nécessaire pour obtenir ce degré de raréfaction est d'une minute environ, et d'après l'examen des deux baromètres placés aux extrémités, on a observé qu'on obtenait le même degré sur toute la longueur de la ligne sans une différence de temps appréciable. La conduite employée a 9 pouces de diamètre et un demi-mille de longueur; la raréfaction s'opère au moyen d'une pompe à air ayant 37 pouces $\frac{1}{2}$ de diamètre, et parcourant 165 peds par minute. Maintenant il est évident que si l'on augmente la section transversale de la conduite, puis proportionnellement celle de la pompe à air, le résultat ne sera pas altéré. Ainsi, pour aspirer l'air dans cette conduite ayant $\frac{1}{2}$ mille de long, il faut une minute; s'il s'agit d'en faire autant dans une conduite de 3 milles, il faudra 6 minutes: il est évident aussi que si on augmente la section de la pompe à air dans une proportion plus grande que celle de la conduite, la raréfaction s'opérera plus vite, ou vice versa. Ces principes sont de toute évidence, tout comme l'on sait que la force d'une machine à vapeur dépend de l'aire du piston sur lequel agit la vapeur. De là s'ensuit l'application du système à une ligne du chemin de fer, de quelque longueur qu'elle soit. Car qu'elle ait 3 milles, 30 milles ou 300 milles, les effets qu'il faut produire sont les mêmes: un chemin de fer de 30 milles sera la même chose que dix chemins de fer de chacun 3 milles; de 3 milles en 3 milles on établira une machine à vapeur et une pompe à air qui raréfieront l'air dans la portion de conduite qui leur correspondra, avant l'arrivée du train. Ainsi, à mesure que le train avance il reçoit un mouvement de chaque machine à son tour (et cela sans arrêt, à moins qu'il ne soit néces-

saire) ; la pompe à air continuant à fonctionner après le passage du train, remettra la conduite en état de recevoir le prochain convoi.

2° Quant à la seconde objection, celle qui a rapport à la complication résultant du grand nombre de machines fixes, la meilleure manière d'y répondre est peut-être d'examiner le nombre de ces machines, les dépenses nécessaires et le but qu'elles ont à remplir. Sur une ligne de 30 milles de longueur, en supposant la distance moyenne entre les machines égale à 3 milles, il y en aurait dix munies de leurs pompes à air ; et si ce chemin de fer était destiné à transporter par jour 5 000 tonnes (plus du double de ce qui est transporté actuellement sur le chemin de fer d'Angleterre le plus commerçant), la dépense nécessaire pour l'établissement de l'une de ces machines serait, tout compris, 4 200 liv., nombre qui, multiplié par 10, donne pour toute la ligne une dépense totale de 42 000 liv. Mais il est un fait qui a dû échapper à la connaissance des personnes qui ont mis en avant cette dépense comme un empêchement à l'application du système atmosphérique. Sans doute elles ignoraient que, pour arriver à un transport de 1 700 tonnes seulement par jour, on a besoin de plus d'une locomotive par mille : or, comme chaque locomotive coûte 1 500 liv., la somme affectée aux locomotives sur la longueur de 30 milles, serait de 45 000 liv. Ainsi, rien que pour le premier achat, il y aurait une économie de 3 000 liv. en faveur des machines fixes (4) ; mais ceci est loin d'être l'économie la plus importante. Tout manufacturier du Lancashire ou du Yorkshire, ou toute personne employée à des extractions de mines, sait parfaite-

(4) Ceci ne se rapporte qu'aux machines mêmes, mais on doit se rappeler qu'il y a beaucoup d'autres accessoires, et en jetant les yeux sur le tableau comparatif des dépenses dans les deux systèmes présentés plus loin, on verra que le prix total pour le système locomotif est de 37 600 liv. par mille, tandis que pour le système atmosphérique il ne serait que de 15 120 liv.

ment que la chose capitale, c'est l'établissement de la machine à vapeur, destinée à mettre en mouvement les métiers ou à faire les épuisements dans une mine ; que la machine une fois établie, les détériorations et les chômages sont fort rares, et la dépense annuelle d'entretien assez légère : 5 pour 100 par an feront plus que couvrir les frais nécessaires pour les réparations et les dépenses d'huile, de chanvre et de suif. C'est une exception plutôt qu'une règle de voir une machine fixe, forcée de chômer par suite d'un dérangement.

Dépense annuelle pour les réparations à 5 p. 100 sur 42000 liv.	2 100 liv.
Charbon employé au chauffage (si le transport est de 2 000 tonnes par jour) 6 420 tonnes par an à 20 s. par tonne, .	6 420
Salaire des mécaniciens et des chauffeurs.	1 800

10 320 liv.

Sur le chemin de fer de Liverpool à Manchester de 30 milles de long, le seul qui transporte par jour 1 700 tonnes sur la longueur totale, la dépense annuelle affectée aux locomotives, y compris le charbon, est d'environ 50 000 liv.

3° Passons à la troisième objection, savoir, que le système est défectueux, parce qu'un accident survenant, à l'une des stations ou ailleurs, à la conduite, la circulation se trouverait interrompue sur toute la ligne.

Au premier abord, cet argument paraît puissant ; mais quant à ce qui peut arriver aux machines fixes, on a déjà fait voir que les chances d'accident sont très-faibles. Jour et nuit on en voit fonctionner sans interruption des centaines destinées à l'épuisement des mines ; si elles venaient à se déranger, souvent cela causerait des dommages irréparables à ces propriétés de si grand prix. On peut citer plusieurs établissements où des machines ont fonctionné des années entières sans interruption (5). Mais, pour double

(5) A Rock's-Mines, Cornwall, une machine a fonctionné jour et nuit sans interruption pendant trois ans et demi. Dans la partie est de

sûreté, on peut établir à chaque station une paire de machines et une paire de pompes à air, ayant chacune une force égale seulement à la moitié de la force nécessaire. Si alors, par suite d'un dérangement quelconque, une des machines est forcée de chômer, la circulation ne sera pas pour cela interrompue ; il y aura seulement diminution de vitesse, pendant que le train traversera cette division de la conduite, dans laquelle le pouvoir moteur sera réduit à moitié, et, jusqu'à ce que la cause du chômage ait cessé pour l'une de ces machines, les convois mettront cinq à six minutes de plus à accomplir leur parcours.

Quant à ce qui est des dérangements qui peuvent arriver au tuyau, il faut distinguer : 1° un accident au tuyau même, 2° une fissure dans la composition.

Premièrement, un accident ne peut arriver à la conduite que par suite d'une rupture ; or, il faudrait qu'on la commit à dessein. Mais, pour répondre à l'objection, supposons qu'une conduite ait été brisée n'importe comment, le temps nécessaire à la réparation sera infiniment plus court que celui qu'on mettrait à débarrasser les fragments d'une locomotive et d'un convoi brisés par suite d'une rencontre.

Secondement, si, au lieu d'une place, il y en avait cent où le chauffeur (*heater*) N, *fig. 8*, destiné à liquéfier la composition, n'aurait qu'imparfaitement rempli son but ; l'introduction de l'air à travers la composition dans ces endroits, ne ferait que réduire de quelques pouces la colonne de mercure : il n'en résulterait pas pour cela une interruption, et, en comparant la quantité d'air aspirée à chaque coup de piston de la pompe avec la quantité qui pourrait filtrer à travers la composition, on peut être tranquille. Pourtant, un appel à l'expérience pourra être plus satisfaisant encore qu'un argument, quelque fort qu'il soit.

Londres, à l'établissement établi pour la distribution des eaux, une paire de machines appelées *les Jumelles* a fonctionné onze ans jour et nuit, en se reposant à peine une heure.

Pendant toute la durée des expériences à Wormwood-Scrubs, la hauteur de la colonne de mercure n'a jamais varié de plus de 2 pouces dans le courant d'une même journée ; on a remarqué aussi que, lorsque la machine est arrêtée, il faut huit fois plus de temps pour que la pression atmosphérique se rétablisse dans la conduite, qu'il n'en faut, lorsqu'elle est en mouvement, pour obtenir le degré de raréfaction, ce qui fait voir que seulement la huitième partie de la puissance (c'est-à-dire deux chevaux) est employée à balancer les filtrations.

Du reste, sur le chemin atmosphérique, on pourra (comme on le pratique actuellement sur quelques chemins de fer d'Angleterre) établir un télégraphe galvanique, permettant, dans l'intervalle d'une demi-minute, d'établir une communication entre les diverses machines sur une longueur de 100 milles, et de faire interrompre ou reprendre le travail à volonté.

§ 4. Désavantages du système locomotif.

D'abord, les dépenses nécessaires à son établissement et à son entretien sont très-fortes.

Ensuite, il y a impossibilité d'obtenir une vitesse dépassant 25 milles par heure sans augmenter les frais dans une proportion de suite très-forte. Supposons une locomotive tirant 61'.29 sur un plan horizontal, avec une vitesse de 25 milles par heure : si on veut la faire marcher avec une vitesse de 30 milles par heure, elle ne sera plus capable de tirer que 29'.67; autrement dit, une augmentation de 5 milles en vitesse exige une perte de force de plus de moitié.

Voir le tableau page 62.

Poids (exprimé en tonnes) qu'une locomotive, capable de réduire en vapeur 60 pieds cubes d'eau par heure, peut transporter, non compris le tender, sur des plans d'inclinaison différente, avec les vitesses indiquées au tableau suivant.

INCLINAISON des plans.	10 milles		12 $\frac{1}{2}$ milles		15 milles		17 $\frac{1}{2}$ milles		20 milles		22 $\frac{1}{2}$ milles		25 milles		27 $\frac{1}{2}$ milles		30 milles	
	par heure.	tonnes.	par heure.	tonnes.	par heure.	tonnes.	par heure.	tonnes.	par heure.	tonnes.	par heure.	tonnes.	par heure.	tonnes.	par heure.	tonnes.	par heure.	tonnes.
Horizontal.		346.00		251.10		187.84		142.64		108.75		82.38		61.20		44.04		29.66
1 pour 4480		325.72		236.09		176.35		133.66		101.65		76.75		56.83		40.54		26.05
1 1		307.58		222.67		166.06		125.62		95.30		71.71		52.84		37.40		24.54
1 1		276.47		199.65		148.44		111.85		84.41		63.07		45.99		32.03		20.39
1 1		260.87		199.76		144.70		108.93		82.11		61.24		44.51		30.89		19.31
1 1		264.59		199.85		141.70		106.58		80.25		59.77		43.38		29.98		18.80
1 1		255.56		184.17		136.59		102.50		77.09		57.25		41.40		28.42		17.60
1 1		246.17		177.22		131.27		98.43		73.81		54.65		39.33		26.79		16.35
1 1		234.68		168.72		124.75		93.34		69.78		51.46		36.80		24.81		14.82
1 1		220.02		157.87		116.45		86.85		64.75		47.38		33.58		22.28		12.86
1 1		201.04		143.82		105.69		78.44		58.01		42.11		29.40		19.00		13.33
1 1		175.39		124.85		91.16		67.09		49.03		34.99		23.76		14.57		6.91
1 1		138.48		97.54		70.24		50.74		36.12		24.74		15.64		8.20		1.99
1 1		84.07		55.30		37.89		25.46		16.14		8.88		3.09				

Voir Wood, Traité sur les chemins de fer, 2^e édition.

On est obligé de donner aux chemins de fer des pentes extrêmement faibles, vu la nature du moteur employé. Toute la force de la machine locomotive n'est pas utilisée à tirer le train ; une partie est employée à la tirer, elle et son tender. Ainsi, une grande partie se trouve perdue, même sur un plan horizontal ; mais cette perte augmente d'une manière considérable, lorsqu'on vient à monter la plus faible pente.

On comprendra encore mieux par un exemple toute l'étendue d'un tel désavantage :

Supposons qu'une locomotive ait une force de traction de 1 700 liv. ; que son poids, y compris le tender, soit de 20 tonnes (c'est actuellement le poids et la force de traction des meilleures locomotives, parcourant par heure une distance moyenne de 20 milles). Or, comme il faut une force de 14 liv. par tonne pour atteindre cette vitesse sur un plan horizontal, 280 liv. seront employées à mouvoir la machine et son tender ; il restera une force de 1 420 liv. pour le train. Cette force divisée par 14 liv., quantité nécessaire à chaque tonne, donne 101 tonnes pour le poids que cette locomotive est capable de tirer sur un plan horizontal. Maintenant, plaçons le même train sur un plan incliné à 2 pour 100 : la force nécessaire pour tirer une tonne avec la même vitesse, devient 59 liv. au lieu de 14 liv. ; elle est ainsi augmentée presque dans le rapport de 1 à $4\frac{1}{4}$, la locomotive et le tender, pesant 20 tonnes, exigeront une force de 1180 liv. au lieu de 280 liv., et ne laisseront plus que 520 liv. pour tirer le train, au lieu de 1420 liv. Mais comme il faut à ce train une force de $101 \times 59 = 5959$ liv. pour monter la rampe, il faudra employer 11 locomotives $\frac{1}{2}$ possédant chacune une force de traction de 1 700 liv., ce qui fait en tout une force de 19 550 liv. On a ainsi une perte de plus des $\frac{2}{3}$ de la force sur une telle rampe, tandis que, sur un plan de niveau, la perte est moins de $\frac{1}{6}$. Par le même calcul, on

verrait que , si l'on augmentait un peu la rampe , la locomotive n'aurait plus assez de force pour se tirer , elle et son tender , même lorsqu'elle serait dégagée du train.

De plus on est forcé de donner aux rails un grand poids, une grande solidité, et d'apporter beaucoup de soins dans les fondations lorsqu'on se sert de machines locomotives. Ces machines (non compris le tender) pèsent généralement de 14 à 15 tonnes chacune ; et , outre la rigidité nécessaire au chemin pour supporter un poids aussi lourd passant d'une seule pièce , les frottements des roues contre les rails de chaque côté leur causent un déplacement continuél , quelquefois même les déjettent.

Mais un des plus grands désavantages , c'est l'énorme dépense nécessaire à l'entretien , dépense qu'augmente considérablement la nécessité d'avoir un grand nombre de machines auxiliaires dans les magasins , pour ne pas interrompre le service. En examinant les comptes-rendus de la compagnie du chemin de fer de Liverpool à Manchester , on voit que la dépense annuelle pour les locomotives et le charbon , va de 57 000 liv. à 60 000 liv. par an , ce qui fait annuellement près de 2 000 liv. par mille , et cela pour un transport de 1 700 tonnes par jour. Cette somme est en dehors du premier achat et de l'intérêt du capital primitif.

Un autre inconvénient , c'est la perte d'une grande quantité de combustible , et cela proportionnellement à la force employée. Cette perte provient en partie de la rapidité avec laquelle marchent les pistons , ce qui empêche la vapeur d'agir sur eux avec toute sa force , et du reste de la pression contraire qui s'exerce sur eux , et qui réduit encore la force proportionnellement à la vitesse ; la puissance de la locomotive diminue donc constamment à mesure que la vitesse augmente. La combinaison de ces désavantages se fait sentir à tel point que , lorsqu'on marche avec une vitesse de 20 milles par heure , la puissance ef-

fective de la locomotive est réduite à la moitié de celle qu'on obtiendrait avec la même quantité de combustible et de vapeur, agissant dans une machine *fixe*. Lorsqu'on marche avec une vitesse de 30 milles par heure, la force est réduite à moins de $\frac{1}{4}$; et, pour une vitesse dépassant un peu 45 milles, cette puissance se trouve diminuée à tel point que la locomotive ne peut plus se tirer, elle et son tender. Il y a aussi une perte considérable de combustible sur les plans inclinés, comme on l'a déjà vu.

Enfin tout le monde connaît les accidents résultant journellement du choc des trains, de la sortie des rails, de bouilleurs éclatés, etc.

Les remarques précédentes font voir que les inconvénients de ce système résultent entièrement de l'emploi de machines *locomotives*, et l'on doit chercher le remède dans l'usage de machines *fixes*.

§ 5. Avantages du système atmosphérique.

Nous allons maintenant parler des avantages que présente le système atmosphérique.

1° Dans ce système, on évite la perte considérable de force, employée par la machine locomotive pour se tirer elle et son tender, et, à la montée d'une rampe, il n'y a de force additionnelle à ajouter que celle qui doit balancer l'augmentation de résistance due à l'inclinaison du plan. On ne connaît pas d'autre système qui puisse être employé à la locomotion, sans entraîner avec lui des poids et des frottements. Nous avons déjà parlé du mauvais effet des machines locomotives sur les rampes; il existe aussi de grands inconvénients dans l'emploi des cordes qui s'attachent aux trains, et produisent sur le plan incliné un grand encombrement.

2° Le poids des rails et des coussinets, dans le nouveau système, peut être le $\frac{1}{3}$ de ce qu'il est sur les chemins de fer avec machines locomotives: car les waggon du train ne se-

ront pas assez lourds pour les détériorer. La dépense annuelle d'entretien de la voie sera aussi, par la même raison, réduite de beaucoup.

3^e La détérioration et l'usure, pour une machine locomotive et une machine fixe, sont dans le rapport de 18 à 1.

4^e On utilise toute la force de la vapeur; et, sur un plan incliné, *fig. 14 et 15*, la quantité additionnelle de combustible, dépensée en montant, est économisée à la descente, puisque les trains sont mus par leur propre poids. La dépense de combustible est diminuée aussi par l'emploi du charbon qui coûte moitié moins que le coke.

Dans le nouveau système, la vitesse dépend entièrement de la rapidité avec laquelle on aspire l'air du tuyau : donc, en augmentant simplement les dimensions de la pompe à air, on obtiendra différentes vitesses, et, pour un transport donné par jour, on ne rencontre pas, par suite de l'élévation de la vitesse, une augmentation considérable dans le combustible, si ce n'est la quantité additionnelle nécessaire pour contre-balancer l'augmentation de résistance de l'air. En construisant ainsi un chemin de fer à grande vitesse, on obtient une économie dans le premier prix d'établissement : car, puisqu'on parcourt la ligne en moins de temps, on peut faire partir un plus grand nombre de trains chaque jour, et, par suite, on peut diminuer leur poids. Alors le piston, ayant moins à tirer, peut avoir un diamètre plus faible, et le prix de la conduite (qui forme la principale dépense d'établissement) peut être ainsi réduit à peu près dans le rapport de l'accroissement de vitesse.

Outre ces avantages, ce système en possède d'autres qui ne sont pas d'une moindre importance pour le public. On évite les rencontres entre les trains : car, puisque la force motrice ne peut être appliquée à plus d'un piston à la fois dans une même division de la conduite, il doit y avoir au moins la longueur d'une division entre deux trains ; et

si, par une cause quelconque, un train était forcé de s'arrêter au milieu d'une division, le train suivant serait aussi forcé de s'arrêter à l'entrée de cette conduite, puisqu'il n'existerait pas de force pour le pousser, tant que le premier train ne serait pas sorti. Il est impossible aussi à deux trains de se choquer en marchant dans des directions contraires, puisque l'on n'applique la force qu'à l'une des extrémités du tuyau. Un train ne peut sortir des rails, puisque le waggon conducteur est fortement attaché au piston, qui voyage dans la conduite entre les rails, *fig. 10*. Les waggons et les bagages ne peuvent être brûlés, puisque la machine à vapeur ne marche pas avec le train.

§ 6. Tableau comparatif des prix des deux systèmes.

Nous arrivons maintenant à la comparaison des prix des deux systèmes :

Dans le système locomotif, la nécessité d'avoir un chemin comparativement horizontal cause actuellement l'énorme dépense que réclament les terrassements, les viaducs, les tunnels, et augmente le prix, non-seulement par suite de l'allongement qu'on donne à la ligne, dans le but d'éviter des coupures et des remblais, mais aussi par suite de la quantité nécessaire de chaque côté du chemin, dans tous les points où l'on a à construire des ouvrages de cette nature. Ainsi, par exemple, si l'on doit établir une levée de 30 pieds de haut, il faut s'étendre au moins à 60 pieds de chaque côté du chemin pour obtenir un talus suffisant, ce qui fait 120 pieds en plus du chemin, à moins qu'on ne rencontre un terrain favorable. On peut se faire une idée de la dépense comparative des deux systèmes, quant à ce qui est de l'établissement du chemin, en comparant le prix moyen de construction d'une route avec celui des principaux chemins de fer en activité.

Système locomotif.

En prenant cinq des principaux chemins de fer de l'Angleterre comme base de ce calcul, leur prix moyen d'établissement a dépassé.	par mille. 36 000 liv.
Et le capital primitif pour les locomotives.	1 600
	<hr/> 37 600 <hr/>

Système atmosphérique.

La dépense moyenne pour établir une route en Angleterre est de 3 000 liv. par mille, mais pour le chemin atmosphérique mettons.	4 000 liv.
Ajoutons en plus pour les ponts de communication.	2 000
Rails, coussinets, traversines, pose.	2 500
Tuyau principal et appareil complet (pour un transport de 360 tonnes par heure, ou de 5 000 tonnes par jour de quatorze heures, sur un chemin avec des pentes de 1 pour 100).	5 200
Machines fixes, pompes à air, maisons.	1 400
Piston moteur.	20
	<hr/> 15 120 <hr/>
Économie par mille dans le premier établissement en faveur du système atmosphérique.	22 480

Passons maintenant aux dépenses annuelles de marche et d'entretien pour un transport de 2 000 tonnes par jour (nombre dépassant la quantité moyenne circulant sur le chemin de fer de Liverpool à Manchester) :

Système locomotif.

5 pour 100 du capital d'établissement (37 600 liv.).	par mille. 1 880 liv.
Entretien de la voie.	450
Département des locomotives, y compris le charbon.	1 800
	<hr/> 4 130 <hr/>

Système atmosphérique.

5 pour 100 du capital d'établissement (15 120 liv.).	756 liv.
Entretien de la voie et surveillance des tuyaux.	300
Détérioration et usure des machines fixes (5 p. 100 du prix).	70
Charbon, 0 ^l .75 par tonne par mille, 214 tonnes à 20 s.	214
Salaire des mécaniciens et des chauffeurs.	60
Id. des conducteurs de trains.	26
Renouvellement de l'appareil moteur et de la composition.	50
Faux-frais.	150
	<hr/> 1 626 liv. <hr/>

Économie dans l'entretien , par mille , en faveur du système atmosphérique.	2 504 liv.
Dépense totale par tonne et par mille dans le système locomotif.	1 ^d .54
Id dans le système atmosphérique.	0 ^d .6

Non compris le prix des waggon et de leur entretien , que nous supposerons le même dans les deux systèmes.

Le tableau précédent met en évidence l'économie qui résulterait de l'adoption du nouveau système. Une grande partie des capitalistes anglais , avec la hardiesse qui les caractérise , ont engagé des sommes énormes dans les entreprises de chemins de fer. Ils avaient compris les avantages qui devaient résulter du nouveau mode de communication ; mais ils ignoraient encore jusqu'où pouvaient aller les dépenses d'établissement et d'entretien. Ils se fièrent à leurs ingénieurs , les devis se trouvèrent de beaucoup inférieurs à la somme qu'on fut alors obligé d'avancer ; après l'établissement , les dépenses annuelles d'entretien dépassèrent beaucoup les prévisions , et tout cela déconsidéra beaucoup ces entreprises , en tant que spéculations commerciales. Toutefois on ne doit pas désespérer d'apporter des perfectionnements ; mais tant qu'on ne cherchera pas un système autre que celui des locomotives , il est bien à craindre que les améliorations ne fassent que réduire de bien peu les dépenses. Pour couper le mal dans sa racine , sans doute , il faudra recourir à un nouveau système , et , ce qui le fait surtout pressentir , c'est l'examen de la portion considérable de profits qu'absorbe la nature même de la puissance locomotive. Bien que la chose soit évidente d'elle-même , on ne peut pourtant pas de prime abord se faire une idée de l'immensité de cette perte ; les faits suivants la feront mieux comprendre. Chaque train est tiré sur les chemins de fer par une machine dont le poids moyen est de 20 tonnes ; il y a donc une perte de 20 tonnes à chaque train. Sur le chemin de fer de Londres à Birmingham , le moindre prix pour les marchandises est de 2 livres par tonne pour

toute la distance qui est de 112 milles. Supposons pour un moment que, la dépense d'entretien et celle nécessaire à la marche des locomotives restant la même, ces machines ne pèsent rien; il est clair que la compagnie pourra transporter 20 tonnes de plus à chaque train, ou seulement 15 tonnes utiles en déduisant $\frac{1}{4}$ pour le poids des waggons dans lesquels seront renfermées ces marchandises, ce qui fait une augmentation de revenu de 30 liv. par voyage, ou avec le nombre actuel des départs (douze de chaque côté par jour) de 306 000 liv. par an. Il n'y a pas de doute que ce fait doive étonner bien des actionnaires, qui chercheront de suite un moyen de s'approprier une telle augmentation de bénéfice. Le moyen est évident; la cause de perte, c'est le transport d'un poids inutile: évitez-le et le résultat est obtenu.

M. Samuda, parlant de l'économie du nouveau système, va même jusqu'à dire que la compagnie du chemin de fer de Londres à Birmingham pourrait établir sur son chemin le système atmosphérique, réduire les prix de transport, qui sont de 25 s. par voyageur, et de 40 s. par tonne de marchandise, à 5 s. par voyageur, et 6 s. 3 d. par tonne de marchandise, et avoir encore à partager le même dividende qu'actuellement. Il se fonde sur plusieurs calculs que nous ne reproduirons pas ici.

§ 7. Application du nouveau système aux grandes routes.

Le système atmosphérique sera applicable aux grandes routes pour le transport des marchandises et des denrées qui viennent approvisionner les marchés des villes, moyennant une réduction de vitesse de 35 milles par heure à 12 milles. On a déjà mis sous les yeux les prix nécessaires à l'entretien et à la marche, qui sont si faibles, que des marchandises pourraient parcourir 100 milles pour 6 s. 6 d. la tonne, et chaque voyageur la même distance pour 5 s. Cette somme payerait les contributions des barrières et

laisserait encore un assez beau dividende pour l'intérêt du capital.

En convertissant une grande route en une double ligne de railway atmosphérique, la partie macadamisée sera livrée entièrement à la circulation ordinaire ; et on n'aura pas besoin de ponts pour les chemins qui traversent. La vitesse étant réduite à 12 milles par heure, on tournera facilement sur des courbes d'un rayon assez faible ; il n'arrivera pas d'accidents, puisque l'on pourra arrêter instantanément le train dans le cas où des voitures traverseraient la ligne, ou bien qu'il y aurait tout autre embarras, ou bien encore des voyageurs et des marchandises à prendre. On traversera les rues principales d'un pays sans tuyau et le train obéira au conducteur tout comme une diligence au cocher.

Outre les avantages que retireront les personnes engageant leurs capitaux dans cette entreprise, tout le monde profitera des facilités de communication. Le voyageur le plus pauvre regardera comme une folie de marcher ; le bétail ne voyagera pas autrement et les produits de l'agriculture arriveront au marché si vite et à si peu de frais, que, sur la place de vente, ils auront la même fraîcheur et à peu près la même valeur qu'à la ferme.

Les détails précédents sont empruntés à une brochure publiée par M. Samuda tout dernièrement.

J'ai été visiter plusieurs fois à Wormwood-Scrubs le railway atmosphérique dont on m'avait beaucoup parlé à mon arrivée à Londres, et j'avoue qu'en effet la vue de l'appareil me satisfut plus que toutes les descriptions qu'on avait pu m'en faire.

Pour mettre le train en mouvement sur le chemin de fer, comme il n'y avait qu'une seule voie et qu'une machine à vapeur, on commençait par détourner le piston B de l'alignement de la conduite, en faisant glisser la traverse en

bois P, *fig. 2*, qui est mobile. Alors, en vertu de la gravité, le train descendait le plan incliné; arrivé à l'extrémité, on remettait la traverse de manière que le piston fût de nouveau dans l'alignement de la conduite, la machine à vapeur aspirait l'air, et le train remontait le plan chassé par la pression atmosphérique.

Malheureusement, lors de mon arrivée à Londres, les expériences étaient à leur fin. On m'avait dit qu'on allait construire, près de Dublin, un chemin de fer sur ce nouveau principe; me trouvant à Liverpool, je poussai jusqu'en Irlande, mais les travaux n'étaient pas encore commencés. La compagnie était en effet organisée, et l'on attendait tous les jours les ingénieurs. A mon retour à Londres, je vis M. Samuda qui allait partir pour l'Irlande, et établir sur le nouveau principe le prolongement du chemin de fer de Dublin à Kingstown.

Tous les ingénieurs anglais auprès desquels j'ai été introduit, et qui avaient suivi les expériences de Wormwood-Scrubs, faisaient un rapport très-favorable du système atmosphérique, et lui croyaient réellement un avenir. Ce qui prouverait beaucoup en sa faveur, c'est que les ingénieurs chargés de la surveillance de chemins de fer à locomotives, en faisaient eux-mêmes l'éloge.

Sans doute, il y aura des perfectionnements apportés au nouveau système; on pourra peut-être ménager aux diverses stations des réservoirs de *vide*, et c'est là une chose bien singulière, dans un moment où, d'un autre côté, on cherche à organiser, pour la marche des locomotives, des réservoirs d'*air comprimé*. Du reste, si on venait à mettre à exécution cette dernière idée, on l'appliquerait de même à la machine fixe du système atmosphérique,

Je joindrai ici une lettre de M. Pim, trésorier de la compagnie organisée pour exécuter en Irlande le chemin dont j'ai parlé.

« *Lettre de M. JAMES PIM, trésorier de la compagnie du chemin de fer de Dublin à Kingstown, au comte de RIPPON, président du conseil de commerce.*

« Monsieur, permettez-moi de soumettre à l'examen des lords faisant partie du conseil de commerce, la communication suivante relative au système de locomotion sur les chemins de fer par la pression de l'atmosphère, et auquel les inventeurs ont donné le nom de *rail-way atmosphérique*.

« L'organisation d'une commission spéciale de la société de commerce, établie pour surveiller, et jusqu'à un certain point contrôler l'établissement des chemins de fer, sera, j'espère, une excuse suffisante, et justifiera mon importunité.

« Si la proposition que je vais vous soumettre n'avait d'autre objet que de diminuer les dépenses actuellement nécessaires pour la construction et l'établissement d'un chemin de fer, je penserais encore qu'elle mérite votre attention, puisque, dans tous les pays et dans toutes les circonstances, c'est un objet bien digne d'un homme d'état de prévenir la perte des ressources nationales, et de donner une bonne direction aux dépenses publiques. Mais si, outre l'économie, cette proposition a pour but d'augmenter la vitesse sur les chemins de fer en même temps que la commodité des voyageurs, ce sont là des titres qui doivent vous la recommander. Si enfin, outre ces avantages, le nouveau système ne présente plus aucun danger, s'il réunit ainsi *salut, commodité, économie et rapidité*, je ne doute pas qu'il ne mérite d'être rangé parmi les inventions modernes les plus importantes, et je crois qu'il ne manquera pas d'obtenir de vous, ainsi que du comité, toute l'attention que doivent apporter les personnes chargées de veiller au salut public.

« Cet appel, je ne le fais pas légèrement et sans comprendre toute l'étendue de ma responsabilité; c'est à la

suite d'une étude longue et laborieuse, d'expériences répétées, dans lesquelles j'ai été aidé par les gens les plus distingués dans la science et par plusieurs ingénieurs éminents, dont les opinions ont concouru à me donner une telle conviction de l'importance du sujet, que je me suis décidé à vous le présenter.

» Je commencerai par une exposition concise des moyens employés pour arriver aux avantages dont j'ai parlé, et j'entrerai ensuite dans quelques détails tendant à prouver tous les avantages du nouveau système.

» On sait généralement que des hommes ingénieux ont de temps à autre proposé d'employer la pression atmosphérique comme un élément de puissance locomotive; mais toutes leurs idées étaient si loin de pouvoir être mises en pratique, que toutes les propositions qu'ils ont faites d'établir un railway atmosphérique ou pneumatique ont été reçues avec dérision.

» Dans le système de MM. Clegg et Samuda.
(M. Pim donne ici un exposé du système; nous ne le reproduisons pas, puisque nous l'avons déjà décrit.)

» Les dessins relatifs à ce système tendent à faire penser qu'il est très-compiqué; mais une seule visite à Wormwood-Scrubs suffira pour faire comprendre sa simplicité, et le peu de tendance qu'il a à se déranger: toutes les parties sujettes à l'usure peuvent être remplacées facilement et à peu de frais, et la comparaison est très-avantageuse au système proposé, lorsqu'on le met en regard du système où le moteur est une machine locomotive, dans laquelle toutes les pièces compliquées du mécanisme se trouvent réunies dans un petit espace, où une portion considérable est nécessairement exposée aux effets d'une température très-élevée; le piston est obligé de se mouvoir avec une grande vitesse, et la machine qui imprime le mouvement court elle-même avec toute sa masse et avec une grande rapidité.

» Parmi les inconvénients du système locomotif , il faut compter les retards provenant du glissement des roues de la machine sur les rails , lorsque les trains sont pesants ou bien que les rampes sont un peu fortes , ou bien encore lorsque les rails sont gras à la suite d'une pluie fine ou du verglas , enfin lorsque , dans un hiver rigoureux , les pompes viendraient à geler. Chacune de ces causes de retard devient une source d'accidents. Quoique l'on ne voie guère dans nos pays les pompes geler , pourtant , dans plusieurs parties du nord de l'Europe et de l'Amérique , cela peut être , dans le fort de l'hiver , une cause d'arrêt pour les locomotives. Les variations dans la vitesse des trains tirés par les locomotives , sont la principale cause d'accidents , et cependant l'on ne peut guère les éviter puisque les voyageurs de troisième classe et les marchandises , pour être transportés économiquement , doivent marcher plus lentement (c'est ce qu'on appelle en Angleterre *slower-trains*).

» A ces désavantages des locomotives il faut joindre la nécessité de brûler du coke , ce qui , dans beaucoup d'endroits , augmente énormément la dépense. Les machines fixes pouvant consumer du charbon ou de la tourbe (et , sur le continent d'Europe et en Amérique , du bois) présenteront , dans certains cas , beaucoup plus d'économie.

(M. Poiré passe alors à la perte de force d'une locomotive lors d'une augmentation de vitesse ou à la montée d'une rampe , là où précisément on devrait avoir plutôt un accroissement de force. Il expose aussi certains avantages du système atmosphérique ; nous ne reproduirons ici que ceux dont il n'a pas été parlé précédemment.)

» Pour un chemin de fer atmosphérique , il n'y a plus la même nécessité d'avoir des pentes aussi faibles que celles qui servent actuellement de limite ; il suffira d'augmenter à ces endroits les dimensions de l'appareil et la force de la

machine (6). Par là on obtiendrait une grande économie, quant à ce qui a rapport aux terrassements, à l'établissement des ponts et des tunnels, aux abords.... Cet avantage peut permettre d'établir un chemin de fer là où les moyens actuellement employés sont à peu près impraticables.

Quant à ce qui est du département des locomotives et voitures, on fera une économie sur les approvisionnements d'eau, hangars, magasins.... On n'aura plus besoin de plateaux tournants aussi lourds. Les voitures n'ayant plus à soutenir les chocs et les secousses de la locomotive, pourront être plus légères (les rails seront beaucoup moins lourds).

» Les voyageurs seront débarrassés du bruit, de l'odeur, de la fumée et des étincelles qui partent de la locomotive.

» On pourra n'avoir que des lignes simples. Il y a très-peu de pays, où, en faisant partir dans la journée un nombre de trains suffisant, on ne pourrait faire face aux besoins du commerce, même avec une *seule ligne*, et en employant des locomotives; mais, avec ces machines, les lignes simples sont beaucoup trop dangereuses.

» Sur un railway atmosphérique, où il ne peut pas y avoir rencontre, on peut n'avoir que des lignes simples. On peut faire partir des extrémités autant de trains que l'on voudra, sans qu'il puisse y avoir choc, puisque nous avons vu que deux trains doivent être séparés par une division de la conduite. On aura soin alors d'avoir sur le côté, à chaque station, des gares d'arrivée. On comprend alors toute l'économie qui doit résulter de la diminution de section transversale. De plus, comme on n'a plus à considérer le poids de la locomotive et la hauteur de la cheminée, les

(6) Quant à la descente on trouverait, outre les freins, des moyens de retarder la vitesse que la gravité pourrait faire prendre au train. On pourrait utiliser la résistance de l'air, ou à la rigueur une aspiration en sens contraire.

viaducs peuvent être construits plus légèrement, et les tunnels avoir beaucoup moins de hauteur. Huit pieds sont bien suffisants pour donner libre passage à la partie supérieure des voitures.

» Les machines fixes, une fois établies sur la ligne, on aura ainsi de 3 milles en 3 milles une certaine quantité de force. Entre le passage des trains, et lorsque la pompe à air n'aura pas à fonctionner, elle pourra être utilisée de bien des manières, soit à moudre du blé, à scier du bois, à pomper de l'eau, à assécher des terres, à en arroser d'autres, en un mot dans des opérations industrielles ou agricoles. Dans toutes ces machines, on pourra dépenser le combustible de la manière la plus économique, soit en établissant autour de la chaudière des carnaux pour ne point perdre de chaleur, soit en faisant agir la vapeur par détente, ce qui n'est pas possible, lorsqu'il s'agit d'une machine locomotive.

» Je suis autorisé par les inventeurs à mettre à la disposition du comité tous les plans, calculs et renseignements nécessaires.

» Seriez-vous assez bon, en votre qualité de président de la société, pour mettre cette lettre sous les yeux de vos honorables collègues.

» J'ai l'honneur d'être, etc. »

Nota. La société prit en effet cette lettre en considération, on fit de nouvelles expériences auxquelles assista une commission des ingénieurs civils, et c'est à la suite que l'on organisa la compagnie du nouveau chemin de fer.

N° 67.

CANAL DE NANTES A BREST.
POINT DE PARTAGE DE GLOMEL.*Note sur les travaux de consolidation des talus
de la tranchée de Glomel;*

Par M. DESCHAMPS DE PAS, Aspirant ingénieur des ponts et chaussées.

Le canal de Nantes à Brest, dont l'objet est d'assurer en temps de guerre l'approvisionnement du plus vaste et du plus important de nos arsenaux maritimes, se compose de trois canaux à point de partage. Il passe successivement du bassin de la Loire dans celui de la Vilaine, du bassin de la Vilaine dans celui du Blavet, et du bassin du Blavet dans celui de la rivière d'Aulne qui débouche dans la rade de Brest.

Il traverse les départements de la Loire-Inférieure, du Morbihan, des Côtes-du-Nord et du Finistère; son étendue est de 374 000 mètres environ; les écluses au nombre de deux cent trente-huit, rachètent une chute totale de 555^m.25.

Les trois points de partage du canal sont établis en tranchée; mais aucun d'eux ne présente autant d'intérêt, soit sous le rapport de la hauteur des talus soit à raison des accidents survenus après son ouverture, que celui de Glomel. Nous nous proposons, en conséquence, d'examiner ici les différentes phases des travaux depuis le commencement de la coupure en 1822, et les divers moyens employés successivement pour arriver à la consolidation des talus.

Exposé des travaux exécutés pour l'ouverture de la tranchée. — Les versants des rivières d'Aulne et du Bla-

vet, faisant toutes deux partie du canal de Nantes à Brest, ont leurs pentes en sens contraire, et sont séparés par une crête formant le faite de la chaîne qui joint la montagne Noire aux montagnes d'Arrhéc. Cette chaîne présente plusieurs seuils déprimés, parmi lesquels celui de la lande de Saint-Péran, auprès de Glomel, a été reconnu pour le plus bas, lors des opérations de nivellement faites en 1823, et il a été choisi comme offrant le plus de facilité pour joindre les deux versants. Cette jonction a lieu le long de l'étang de Trébézel, d'où sort le ruisseau du Doré qui se jette dans le Blavet à Gouarec, tandis que le ruisseau de Saint-Péran, qui prend plus bas le nom de Kergoat, se jette dans la rivière d'Hyères, près de Carhaix, et celle-ci dans l'Aulne, au pont Trifen.

La jonction précédente est établie, Pl. 37, *fig. 1*, au moyen d'une coupure qui sert à abaisser le fond du bief de partage au niveau du fond moyen de l'étang de Trébézel, de manière que le canal puisse être alimenté principalement par cet étang et par ceux de Méhont, Coron et Kerjean, qui s'élèvent de plus en plus et viennent tous se verser dans le premier.

La longueur totale du bief de partage est de $4\,114^{\text{m}}.35$; mais le terrain s'abaissant beaucoup près des deux écluses de garde, et se trouvant ainsi au-dessous du niveau du fond du canal, la longueur de la coupure n'est que de $3\,300^{\text{m}}.65$.

Le fond est placé à $22^{\text{m}}.478$ en contre-bas du niveau du point culminant, lequel se trouve à fleur de sol vers l'extrémité ouest de la lande de Saint-Péran, à une petite distance du village de Créharer. L'ouverture du canal en cet endroit est de $73^{\text{m}}.68$, elle diminue à mesure que le sol s'abaisse à partir de ce point. Sur les deux versants, la cuvette a la même largeur que dans les autres parties du canal, ouvertes en pleine section dans les vallées qu'elles traversent, c'est-à-dire 10 mètres en plafond.

L'axe de la coupure se compose de sept alignements raccordés par des courbes.

A ces dispositions du projet primitif, qui ont été en partie conservées, il faut ajouter que les talus inclinés dans toute leur étendue à 45 degrés étaient interrompus par des banquettes espacées de 5^m.00 et de 2^m.00 de largeur.

Dans sa lettre d'approbation, en date du 7 juin 1824, M. le Directeur général, ne se dissimulant pas les craintes que pouvait inspirer une tranchée de 22 mètres de hauteur dans un terrain peu solide, disait qu'il aurait préféré un souterrain sur une certaine étendue, si les travaux de la coupure n'eussent été déjà en pleine activité. Il prescrivit en même temps de faire, dans la partie qui est sur le versant de Nantes, les talus inclinés de un et demi de base pour un de hauteur, et de doubler le nombre des banquettes, en diminuant de moitié leur largeur.

Les travaux furent poussés avec activité, au moyen d'ouvriers libres et de condamnés militaires, pendant quatre à cinq ans, sans que l'état des choses fût changé et fût craindre une interruption dans les travaux. Mais, en 1827, commencèrent à se manifester des accidents qui, se succédant, pour ainsi dire, d'une manière non interrompue, montrèrent combien les craintes de M. le Directeur général étaient fondées. Mais, avant d'aller plus loin, jetons un coup d'œil sur la composition géognostique du terrain, aux abords et dans l'emplacement du bief de partage de Glomel.

Composition géognostique du terrain. — Ce point de partage est placé à la séparation des terrains primitifs et des terrains de transition; les premiers sont de formation toute granitique, et les seconds de formation schisteuse avec des bancs subordonnés de quartz.

Le granite ne paraît présenter aucune espèce de stratification; ses grains sont généralement gros. Des trois mi-

néraux qui le forment , le feldspath est celui qui prédomine : il s'y présente sous la forme d'incrustations de structure lamelleuse noyées dans la masse, et désignées dans le pays sous le nom de *dents de cheval*. Elles sont quelquefois tellement multipliées, qu'elles semblent former la roche à elles seules. Aussi, dans une partie des abords de Glomel, ce granite dégénère en sable, par suite de la décomposition du feldspath.

Le schiste, qui forme la grande masse des terrassements dans la coupure du point de partage, se présente par couches inclinées d'environ 65 degrés à l'horizon, et dirigées à peu près du nord-ouest au sud-est, à l'exception de quelques bancs ; sa consistance approche de celle de l'argile : aussi, exposé à l'air, il se décompose rapidement et tombe en poussière ; en dégageant une odeur sulfureuse provenant de la transformation du sulfure de fer en sulfate, avec dégagement d'hydrogène sulfuré. Cette action est surtout remarquable pendant les premières pluies qui suivent les sécheresses, ou après d'abondantes rosées (1). D'autres portions de ces schistes, qui sont un peu plus dures, prennent, dans les mêmes circonstances, une couleur ocreuse, due à la transformation en peroxyde de fer du protoxyde qui les colore en bleu.

Telles sont les deux parties constituantes du terrain dans lequel est ouvert le bief de partage. Mais le passage des granites aux schistes ne se fait pas brusquement : la formation granitique, au fur et à mesure qu'elle s'approche des terrains schisteux, présente un état de désagrégation toujours croissant, comme nous l'avons observé plus haut. Enfin, à la limite, elle n'offre plus qu'une couche que l'on prendrait pour de l'argile blanche, qui n'est autre chose que du feldspath en décomposition, connu sous le

(1) Le dégagement d'hydrogène sulfuré est très-fort dans ces circonstances : on doit probablement lui attribuer les nombreuses maladies des condamnés qui travaillaient à la tranchée.

nom de kaolin , renfermant des grains de quartz , et très-peu de mica (2).

Premiers accidents arrivés aux talus de la tranchée, en 1828. — Je reviens maintenant à la construction du bief de partage. Malgré les modifications indiquées au projet primitif par M. le Directeur général , les travaux n'étaient pas encore achevés , que , dès 1827 , il s'était déjà manifesté un éboulis entre les profils n^{os} 8 et 11 , Pl. 37. Dans la portion de la tranchée , située sur le versant du Blavet , à l'endroit où se trouve cette argile kaolin , que nous avons vue plus haut être la transition entre les terrains primitifs et les terrains secondaires , le sol aux abords de la fouille , sur une longueur de 145^m.00 , s'était éboulé de manière que la coupure était obstruée jusqu'à 0^m.80 en contre-bas du chemin de halage. Cet état de choses était préjudiciable , en ce qu'il gênait l'écoulement des eaux venant du point culminant ; on avait , il est vrai , tenté d'y creuser une rigole centrale , mais le terrain , vu l'état de fluidité des terres , remontait sans cesse par la pression des bords. On dut alors songer à enlever de suite les terres éboulées.

Les sondes faites pour le projet avaient indiqué un terrain très-peu consistant en cet endroit , et , dans la prévision de ce qui est arrivé , on avait proposé de fonder des perrés sur un grillage et de contre-buter par des traverses les pieux faisant partie du grillage , en même temps qu'on remblayerait derrière les perrés avec des terrains de pier-railles. Il est facile de voir que ce moyen eût été insuffisant ici. En effet , de cette manière , on ne donnait aucun écoulement aux sources intérieures qui avaient été reconnues comme la cause des éboulements ; par suite , le terrain aurait continué à s'ébouler , et la pression latérale faisant bientôt

(2) On a observé que c'était presque toujours dans les endroits où se montrait cette couche que se manifestaient les éboulis. Elle contient beaucoup d'eau et l'eau provenant de ces sources était buë par les condamnés.

rompre la traverse qui contre-butait les pieux du grillage, le fond du canal aurait remonté de nouveau : ainsi, on n'eût pas paré d'une manière définitive à cet inconvénient. C'est probablement pour cette raison, et peut-être aussi parce que l'exécution de ces travaux aurait été très-difficile, que l'on en essaya d'autres.

Dans un premier rapport, MM. les ingénieurs proposaient, après avoir enlevé les déblais, de reformer la banquette et le chemin de halage avec de la terre franche pilonnée, et de recouvrir les talus jusqu'à la hauteur du chemin de halage par des perrés reposant sur une fondation en pierres sèches. Cela supposait que l'on trouverait le terrain solide à une petite profondeur, et qu'on pourrait établir là-dessus la fondation des perrés : c'était, en effet, ce que donnaient les sondes. Mais quand on en vint à l'exécution, on ne trouva qu'un terrain sans consistance, dans lequel les hommes s'enfonçaient jusqu'à 0^m.80 : force fut alors de modifier le projet primitif. Le terrain était dans un état de liquidité tel, qu'on faisait des déblais avec des seaux et des brouettes fermées. On se vit donc dans la nécessité de fonder le perré sur un enrochement occupant toute la largeur du canal ; car sans cela la pression sur les bords aurait sans cesse produit un soulèvement du milieu, par suite un rapprochement des arêtes inférieures des perrés, et le profil eût changé constamment. On déblaya donc le fond du canal sur une profondeur de 0^m.80 en contre-bas du plafond, et on remplit tout l'espace en enrochements, sur une longueur de 115 mètres. Pour obvier aux sources qui, quoique peu abondantes, se montraient cependant en grande quantité, on fit ouvrir vis-à-vis chacune d'elles une tranchée transversale plus ou moins grande, suivant le besoin, et on la remplit de fascines et de moellons, de sorte que l'eau pouvait sortir librement à travers le massif d'enrochements qu'on avait mis au fond du canal ; on employait le même moyen pour les sources de fond. A cette

époque, on pensait généralement que les eaux qui produisaient les éboulements provenaient de sources déterminées, et que, par suite, on pourrait y remédier en allant les chercher dans le terrain, et leur donnant un écoulement au moyen de fascinages ou de pierrées. Néanmoins, on n'avait pu alors trouver que trois sources distinctes, et pourtant le reste des talus, malgré l'écoulement donné à ces sources, était encore imprégné d'eau. Pour en produire le dessèchement total, on creusa une rigole parallèle à l'axe du canal, au pied des talus, et on la remplit de pierres et de fascines. Aux moyens que je viens de décrire et qui arrêtaient les éboulements dans cette partie, il faut encore ajouter que l'on ne reforma pas les talus au-dessus du chemin de halage.

État de la tranchée à la fin des travaux. — Les accidents ne se reproduisirent plus depuis 1828 jusqu'en 1835, époque où furent terminés les travaux pour l'ouverture du point de partage; seulement alors les talus se trouvaient déformés en beaucoup d'endroits. On crut néanmoins devoir recevoir les travaux en exigeant de l'entrepreneur de rétablir les talus en enlevant les portions en excès provenant des éboulis. Ce travail, qui fut fait entre les profils 13 et 15, Pl. 37, n'eut lieu que sur les talus du chemin de halage, et ceux de deux ou trois banquettes supérieures. Aussi, cette réparation partielle laissait-elle prévoir qu'elle serait insuffisante.

Premiers essais de consolidation en 1836. — Comme nous l'avons dit à la fin de l'article précédent, on ne tarda pas à voir se réaliser les prévisions. En effet, en 1836, des profils relevés en divers points de la coupure, et surtout dans la partie comprise entre les profils 13 et 15, firent voir que les talus s'étaient déformés en beaucoup d'endroits, et que, pour la dernière partie, les éboulis de l'année précédente avaient repris d'une manière plus intense. Dans celle-ci, les dégradations paraissaient n'être

que superficielles et dues seulement à l'action des pluies qui, assez abondantes dans cette partie de la Bretagne, délayaient le terrain décomposé par l'action de l'air humide, et l'entraînaient dans le fond de la cuvette. Aussi pensait-on pouvoir y remédier, en enlevant les déblais en excès dans une des parties, et en les portant en remblais dans les endroits où cela paraissait nécessaire.

Un autre éboulis se présentait encore avec les mêmes caractères : c'était celui compris entre les profils n^{os} 19 et 22, Pl. 37 ; mais comme alors il n'avait lieu que d'un seul côté, et que la petite quantité dont le fond du canal se trouvait exhaussé, permettait néanmoins le passage aux bateaux, on jugea inutile de le réparer de suite. Peut-être aussi d'autres raisons engagèrent-elles à laisser les choses dans cet état ; toujours est-il que la réparation ne fut faite qu'en 1837.

L'opinion fut longtemps à se fixer sur la cause des éboulis. Une de celles qu'on avait pressenties, c'était que l'eau tombant le long des cavaliers formant remblais, et séjournant sur le sol sans écoulement, venait d'abord dégrader les talus à leur superficie, et ensuite s'infiltrait très-profondément. Aussi, dès le commencement, avait-on creusé deux rigoles de ceinture, qui bordaient les cavaliers des deux côtés, et dont celle intérieure était à 10 mètres de l'arête des talus. Cependant, comme nous l'avons vu, cette mesure de précaution n'avait pas suffi, et les talus allaient en se dégradant de plus en plus. Quoi qu'il en soit, toutes les opinions en 1836 se résumaient à celle-ci, que les éboulis devenaient de moins en moins inquiétants, et que, moyennant un peu d'entretien suivi, on s'en rendrait tout à fait maître. La suite fera voir combien cette espérance était peu fondée.

Voici pourtant les essais auxquels on se livra dès 1836. Les talus de la tranchée de Glomel, présentant à peu près les mêmes phénomènes que ceux du point de partage de

Hédé au canal d'Ille-et-Rance, talus qu'on était parvenu à consolider, des renseignements furent pris auprès de l'ingénieur qui avait dirigé ces travaux. On apprit ainsi que les éboulis y étaient produits par des sources intérieures qui, ne trouvant pas d'écoulement, décomposaient le terrain peu à peu, de sorte qu'il finissait par s'affaisser suivant une ligne plus ou moins inclinée. Pour y remédier, on avait été chercher les sources à leur sortie du terrain, et on leur avait donné une issue extérieure au moyen de fascines. Ces moyens ayant parfaitement réussi, on crut pouvoir aussi les employer avec succès à la tranchée de Glomel. A cet effet, dans l'éboulis compris entre les profils nos 13 et 15, réparé en 1836, on débaya tout le terrain décomposé sur une largeur moyenne de 6^m.50, le fond étant à 13^m.50 de l'axe du canal, et l'on trouva, ou plutôt on crut trouver (3), que les sources se faisaient jour en deux points distincts. Quoi qu'il en soit, les talus environnants furent desséchés par le fait de l'ouverture de cette espèce de puits. Pour donner de l'écoulement aux sources, on établit, dans la fouille précédente, des rigoles dans le système de celles employées au bief de partage de Hédé; elles consistaient en fascines recouvertes de gazon, l'herbe tournée en dedans, sur lesquelles on remblaya en terres pilonnées, après avoir eu soin de mettre préalablement une légère couche de terre franche au-dessus des gazons posés contre les fascines, Pl. 38, fig. 3 et 4.

Quant aux autres portions des talus qui paraissaient dégradées par la pluie, on se mit en devoir de faire des écharpes ou rigoles d'écoulement. Elles avaient une inclinaison de trois de base pour un de hauteur, ce qui fait, en projection horizontale, pour la portion comprise entre

(3) Je dis l'on crut trouver, parce que l'expérience a démontré depuis, comme nous le dirons plus loin, que ce ne sont pas des sources distinctes que l'on rencontre.

deux banquettes, une longueur de 7^m.50. On laissait 4^m.50 entre le pied d'une écharpe sur une des banquettes et la naissance de celle située sur le talus immédiatement inférieur. Dans chaque banquette, on creusait une rigole de 0^m.40 d'ouverture en gueule, ayant une profondeur nulle au point de rencontre de l'écharpe supérieure avec la banquette, et 0^m.15 au point de rencontre avec l'écharpe inférieure. Enfin, arrivée à la hauteur du chemin de halage, la rigole qui devait amener l'eau au canal lui était perpendiculaire, et venait déboucher sur le talus du chemin de halage; seulement on ne disposait ces dernières que de quatre en quatre écharpes, Pl. 38, fig. 2, et Pl. 37, fig. 2.

Pour connaître le meilleur résultat provenant de ce travail, on fit divers essais : 1° ces écharpes étaient faites en déblai dans le terrain naturel, sans aucune précaution; 2° on mettait des gazons de 0^m.40 de large et de 0^m.10 d'épaisseur dans toute l'étendue inclinée des écharpes, sur laquelle devait couler l'eau; 3° les rigoles, au lieu d'être faites en déblai, étaient faites en remblai avec de la terre végétale, recouverte d'un gazonnement; 4° enfin, dans le cas où les gazons ne prendraient pas, on devait placer par-dessous 0^m.10 à 0^m.15 d'épaisseur de terre végétale.

Travaux exécutés en 1837. — De tous les essais précédents, mis en pratique dès le commencement de 1837, le dernier mode est celui qui produisit le meilleur résultat. En y joignant les recouvrements en terre végétale sur toute l'étendue des talus, recouvrements que l'on fit postérieurement (4), on parvint à consolider les portions de la tranchée, dont les talus n'étaient que dégradés par la pluie et l'action de l'air.

(4) Il est important de remarquer que l'on n'a une véritable consolidation que lorsque l'herbe que l'on a semée est bien poussée sur les talus, parce qu'alors les racines forment un corps entier de ces terres qui sans cela seraient enlevées par la pluie.

Ce furent ces moyens que l'on proposa à l'administration supérieure, dans un rapport en date du 7 juillet 1837, pour mettre la tranchée à l'abri des dégradations causées par les agents extérieurs. Les revêtements en terre végétale, sur une épaisseur de 0^m. 10 à 0^m. 15, avaient encore pour but d'empêcher les infiltrations d'eaux de pluie, qui, par suite des gelées, faisaient tomber le terrain par feuilles. Quant aux sources, on proposait d'employer les mêmes moyens que pour les petits éboulis partiels entre les profils 13 et 15, dont nous avons parlé plus haut, et qui paraissaient devoir tenir. Mais on ne répara cette année qu'un des grands éboulis, parce qu'on ne pouvait être sûr de la réussite en grand des mêmes moyens.

La réparation de cet ébouli suggéra plusieurs modifications utiles, et qui sont la base de tous les moyens de consolidation employés ultérieurement. Ainsi, l'on s'aperçut, en coupant le terrain, qu'on ne trouvait pas de sources évidentes, que l'on pût suivre jusqu'à leur naissance, puis conduire au dehors. Les terrains coupés fraîchement, ne présentaient aucune apparence de suintements, mais, au bout de quelques heures de repos, l'eau se manifestait et coulait; aussi était-il facile de voir qu'on ne pourrait employer les fascines, qui, d'ailleurs en très-grand nombre, et sous cette masse énorme de remblais, pouvaient en s'affaissant livrer plutôt un passage à l'eau que lui en faciliter l'écoulement. Le parti que l'on prit fut alors de former un massif de pierres de 3 mètres quarrés de section, remplissant, sur environ 1^m.50 ou 2^m.00 de hauteur, la fouille faite dans le talus, et pouvant ainsi donner soit par le fond, soit par les talus, un écoulement facile aux eaux. Pour dessécher le reste du terrain, on faisait jusqu'au terrain non éboulé une tranchée que l'on remplissait de fascines protégées par des gazons tournés en dedans et par un corroi de terre végétale, Pl. 37, fig. 5. Au-dessus de l'enrochement précédent on posait un toit formé de gazons,

placés l'herbe en dedans ; on mettait ensuite un corroi en terre franche , puis enfin on achevait le remblai avec des déblais provenant du haut. De cette manière , on inclinait davantage les talus , dans lesquelles on ne laissait plus de banquettes.

Pour les talus qui n'avaient que des dégradations superficielles , on employa les moyens cités plus haut , savoir , les revêtements en terre franche , semés d'herbes , trèfles , genêts , ajoncs , etc. , et les écharpes pour donner de l'écoulement aux eaux. Dans les portions où les talus n'avaient pas de banquettes , on employa la disposition indiquée , Pl. 38 , fig. 3. Enfin , pour la portion de ces mêmes talus situés en contre-bas du chemin de halage , et se trouvant en outre exposés à être dégradés par le batillage des eaux , on ne put se contenter d'un simple recouvrement en terre franche que l'eau eût enlevé de suite : on posa des gazons à plat , par assises ; ces gazons étaient en certains points , surtout au droit des éboulis , supportés par des perrés , qui laissaient passer par les interstices des pierres l'eau des talus , amenée dans les pierrées dont nous avons parlé plus haut par les fascines , Pl. 37 , fig. 4 et 5.

Modifications faites aux travaux de consolidation , en 1838. — Les moyens que nous venons de détailler furent proposés en 1838 , dans un rapport adressé à M. le Directeur général pour la réparation des éboulis (5). Les fouilles dont nous venons de parler n'occupaient , comme on le voit , qu'une bien faible portion de l'ébouli (au plus

(5) Une note de ce rapport indiquait , que si ce moyen de consolidation ne réussissait pas , on pourrait employer une seconde fouille semblable à la première , remplie de pierres , à moitié hauteur environ , et réunie à la précédente par un puits en pierres. Enfin , comme moyen extrême , et qu'on rejetait comme devant être trop coûteux , on proposait de combler toutes les fouilles faites , de pierres au lieu de remblais ; on fut , plus tard , obligé de revenir à ce moyen comme on le verra plus loin.

4 ou 5 mètres, tandis que l'éboulis occupait l'espace de 40 ou 50 mètres). On avait pensé primitivement que, pour le reste, il suffirait de recouvrir en terre franche les portions qui ne se trouvaient pas dans l'endroit des fouilles; mais on reconnut que cela était impossible, vu la fluidité du terrain qui devenait plus grande par le pilonnage. On prit donc le parti d'enlever toutes les terres éboulées avant d'y mettre un revêtement. Au reste, ce déblai total des parties défectueuses avait l'avantage de mettre à nu toutes les mauvaises couches de terrain, et par suite de rendre plus facile le remède à y apporter.

Ce fut d'après les principes exposés ci-dessus que furent entretenus les talus, pendant la campagne de 1838. L'éboulis, compris entre les profils nos 21 et 23, fut réparé au moyen de trois fouilles perpendiculaires à l'axe du canal, dans lesquelles on enleva toutes les terres éboulées, jusqu'à ce que le terrain présentât une consistance suffisante. L'éboulis compris entre les profils 14 et 16 fut réparé de la même manière, seulement on n'y fit que deux fouilles (6).

Les travaux exécutés pendant cette campagne sur un grand éboulis, suivis avec soin, indiquèrent des modifications importantes : ainsi, entre autres choses, on vit qu'on devait renoncer à l'emploi des fascines dans le haut de la fouille, qui présentait absolument les mêmes caractères que dans le bas, et l'on eut recours au moyen indiqué comme moyen extrême dans le rapport dont nous avons

(6) L'inclinaison des talus est aussi un des grands moyens de consolidation qu'on a employés avec succès en plusieurs endroits. En effet, on sait que les terres se tiennent sous divers talus suivant leur nature et que les terres fluentes en ont un très-faible : on se rapprochait ainsi des talus naturels, et en mettant les terres à l'abri des agents extérieurs, on parvint à maintenir plusieurs portions où il ne fut pas nécessaire de faire de fouilles. Ces parties étaient celles où le schiste des déblais de la tranchée n'était pas encore complètement passé à l'état d'argile schisteuse et où conséquemment il n'y avait que décomposition ou dégradation extérieure, sans sources intérieures.

parlé précédemment, c'est-à-dire au remplissage total des fouilles avec des pierres arrangées grossièrement. Sur ces fouilles venaient s'embrancher des rigoles transversales, dans lesquelles on établissait des fascines ou des pierrées, suivant que les sources se montraient isolées ou non (7).

Indépendamment de l'éboulis précédent, plusieurs autres endroits furent encore cette même année réparés de la même manière, mais c'était dans les parties où la hauteur des talus était moins forte. Au reste, presque toutes ces réparations ont parfaitement résisté à plusieurs hivers pluvieux; les talus se sont recouverts d'ajoncs, d'herbes, de genêts, et leur consolidation peut être considérée comme assurée.

Nouveaux accidents arrivés en 1838. — Pendant qu'on réparait quelques éboulis, d'autres se manifestaient. Plusieurs ne se présentaient d'abord, ainsi que cela a lieu du reste généralement, que comme des détériorations dues aux agents extérieurs. Un de ceux qui offraient ce caractère se montra entre les profils, n^{os} 27 et 29 (côté du marche-pied) précisément au point culminant. On se contenta pour cette fois d'enlever les terres excédantes, de faire des perrés et des recouvrements en terre franche. D'autres points avaient aussi simplement été réparés avec des recouvrements en terre végétale, mais nous avons surtout cité le point culminant, parce que nous aurons à y revenir plus tard.

(7) La détérioration constante des talus de la tranchée entraînant et des dépenses considérables et l'interruption de la navigation, a fait demander s'il ne serait pas possible d'établir d'une manière fixe le profil de la cuvette, de sorte que les accidents ne se reproduisissent qu'au-dessus du chemin de halage, et que les déblais pussent par suite être enlevés facilement sans interrompre la navigation. On a lieu d'abord d'être effrayé de la dépense qu'il y aurait à faire pour établir des murs de soutènement en pierres sèches qui dans le cas actuel devraient avoir une épaisseur énorme (environ le tiers de la hauteur). D'ailleurs rien ne pouvait assurer qu'il n'arriverait pas des accidents assez subits pour empêcher la navigation.

Travaux de la campagne de 1839. — Les travaux exécutés jusqu'à cette époque n'avaient encore consisté qu'en tâtonnements, pour connaître le meilleur système de consolidation à employer. Le dernier paraissait être préférable, puisque plusieurs éboulis, relevés d'après ce système, avaient parfaitement résisté à plusieurs hivers pluvieux. Aussi, pendant la campagne de 1839, répara-t-on un grand éboulis, compris entre les profils n^{os} 20 et 23, au moyen de neuf fouilles perpendiculaires à l'axe du canal, ces fouilles étant remplies de pierres, puis ensuite de terre végétale, comme nous l'avons indiqué précédemment.

L'éboulis du point culminant s'étant manifesté de nouveau, ce qui devait nécessairement avoir lieu, puisque l'on n'avait presque rien enlevé des terres ébouleées, et que, le mouvement des terres une fois commencé, il devient impossible de les arrêter; cet éboulis, dis-je, fut aussi réparé de la même manière, au moyen de deux fouilles. Malheureusement, les remblais n'avaient pas eu le temps de se tasser, ni les talus de se consolider et de se couvrir d'herbes. En outre, l'inclinaison des talus dans cette partie de la tranchée n'était pas assez forte; elle n'était que d'environ $1 \frac{1}{2}$ de base pour 1 de hauteur, tandis que partout ailleurs elle est d'environ 2 de base pour 1 de hauteur, et c'est à peine si les terrains de la tranchée peuvent se tenir sous cette inclinaison lorsqu'ils sont mouillés, ainsi que nous l'avons dit. On avait en outre formé les remblais en partie avec les déblais provenant de l'éboulement, quoiqu'on eût eu la précaution de recouvrir ces remblais d'une couche de terre végétale; cette dernière avait fini par être traversée, par suite de ce que le tassement ne s'était pas opéré, de sorte que les remblais provenant des terres ébouleées, une fois mouillés par les pluies ou par les sources intérieures, ne purent se tenir avec une inclinaison de $1 \frac{1}{2}$ de base pour 1 de hauteur. Il s'ensuivit un nouveau mouvement d'affaissement de la partie supérieure, de sorte

qu'au commencement de la campagne de 1840, le pied du talus s'était avancé d'environ 5^m.00 dans le fond du canal.

Travaux de la campagne de 1840. — La réparation de cet éboulis était trop urgente, puisqu'elle interrompait la navigation dans le bief de partage, pour que l'on ne s'en occupât pas de suite. Mais afin de ne pas s'exposer à un résultat infructueux, comme dans les deux essais précédents, on voulut employer, pour le relèvement de cet éboulis, les moyens que l'on regardait dans le principe comme moyens extrêmes et qu'on repoussait alors. Ainsi, l'on proposa :

1° D'enlever tout le terrain éboulé, tandis qu'auparavant on n'enlevait que la portion nécessaire à l'emplacement des fouilles.

2° De couper le terrain attaqué par redans ou marches d'environ 0^m.60 de hauteur ; de donner au-dessus de ces marches une pente longitudinale, afin de conduire les eaux aux massifs de pierre qui descendent jusqu'au fond du canal ; et dont il est parlé plus bas ; en outre de donner au-dessus de ces marches une pente transversale du côté opposé au canal, afin de former des conduits pour les eaux et d'éviter tout contact avec les remblais.

3° De tapisser avec des pierres le dessus et le parement vertical de ces marches, afin de faciliter l'écoulement des eaux.

4° D'établir au pied du talus un massif de pierres d'environ 2^m.50 d'épaisseur, et de fonder ce massif à environ 0^m.80 en contre-bas du plafond du canal.

5° De faire dans les talus, et au droit des sources principales, des tranchées profondes descendues par redans jusqu'au fond du canal, ces tranchées étant espacées d'environ 12 mètres l'une de l'autre, et étant disposées de manière à recevoir les eaux venant des marches dont il a été parlé plus haut.

6° De remplacer le terrain éboulé par de la terre végétale.

7° De soutenir le talus du remblai, sur 7^m.00 de hauteur au-dessus de la banquette, par un perré de 0^m.60 d'épaisseur.

8° De réparer le talus au-dessus de l'éboulis avec de la terre végétale.

Tels furent les moyens proposés. Un retard survenu dans le renvoi du projet empêcha de commencer les travaux avant la fin de la campagne de 1840, de sorte que la grande masse de l'ouvrage resta à exécuter pendant l'hiver (1840-1841), au milieu de pluies presque continuelles. Aussi ne put-on pas mettre en usage une partie des expédients projetés : on dut renoncer à tailler les talus par redans, et à faire aussi les fouilles principales par redans. Telle était la difficulté que l'on éprouvait, qu'à peine avait-on enlevé une portion de l'éboulis qu'un autre se reformait à côté; aussi prit-on le parti, après avoir fait le massif de pierres dans le fond du canal, fondé comme l'indique le projet, de tapisser les parois de la fouille d'où l'on avait enlevé toutes les terres éboulées, d'une couche de pierre de 1^m.50 d'épaisseur environ, épaisseur qui allait en diminuant pour se réduire à 0^m.80, comme le montre la *fig. 3*, Pl. 37. On établit en même temps dans la fouille trois contre-forts à peu près également espacés, d'environ 3 mètres d'épaisseur parallèle à l'axe du canal. Ces contre-forts, à leur partie supérieure, suivaient le plan du nouveau talus que l'on voulait former, et s'arrêtaient à peu près à une distance de 0^m.60 ou 0^m.80 de ce talus. Ils conservaient leur même épaisseur de 3 mètres, et étaient poussés jusqu'à l'endroit où cessait le terrain éboulé. Ils avaient pour but de résister à la poussée des terres; à mesure que les emmétrages de pierres avançaient, on les couvrait d'un toit de gazons, l'herbe tournée en dedans, et l'on poussait les remblais de manière à faire avancer tous les travaux aussi rapidement que la saison le permettait.

En même temps qu'on enlevait les terres éboulées, on s'occupait également de déblayer le haut de l'éboulis, ce qui avait le double avantage de décharger cet éboulis d'un poids considérable et d'incliner les talus, moyen de consolidation qui avait toujours réussi jusque-là. Les talus se trouvaient avoir, par suite de ce travail, une inclinaison de 2 pour 1 à peu près. On avait reculé la crête de la tranchée en ce point, jusqu'à la rigole de ceinture au bas des cavaliers, qu'on dut relever pour les éloigner des bords de la coupure. Sauf les modifications précédentes, les autres dispositions projetées furent conservées; seulement on ne fit pas de perrés contre les talus du remblai au-dessus de la banquette.

Travaux de la campagne de 1841 et 1842. — Les travaux précédents, faits pendant l'hiver, furent achevés au commencement de l'été de 1841. On se mit en devoir de faire de suite des écharpes et des semis d'herbe, et cet éboulis, qui avait donné de grandes inquiétudes, se trouva complètement consolidé, de sorte qu'il a résisté, sans aucun accident à l'hiver de 1842 qui a été aussi très-pluvieux.

On avait également commencé, à la fin de 1840, à réparer le talus du côté nord de la tranchée, entre les profils 10 et 16, où des éboulis s'étaient formés; mais on porta tous les soins sur l'éboulis du point culminant, de sorte que les autres ne furent achevés que dans le courant de 1841. Les moyens employés dans cette partie ont consisté à creuser des fouilles dans les talus, pour les remplir d'abord de pierres, puis de remblais en terre végétale. Pour achever de dessécher les talus, on fit des redans analogues à ceux qui étaient projetés pour le point culminant dont nous avons parlé plus haut. Ces redans avaient une contrepente vers les fouilles principales, et pouvaient ainsi y amener toutes les eaux des talus que l'on a ensuite reformés partout avec des remblais en terre végétale. Ces moyens

de consolidation ont parfaitement réussi, dans tous les endroits où les talus ne sont pas trop élevés.

On répara aussi, cette même année, un éboulis compris entre les profils 21 et 23 (côté de la banquettes), dans un endroit où la hauteur des talus était assez forte : on mit en usage les moyens employés au point culminant. Ainsi, on enleva totalement les terres éboulées, on remplit la fouille ainsi formée avec des pierres qui formèrent dans le bas une forte fondation, pour contre-buter le pied du talus, et en tapissèrent tout le tour. On forma en outre trois contre-forts pour s'opposer à la poussée des terres. Enfin on inclina les talus, et on les reforma en terre végétale.

CONCLUSION.

Dans toutes les parties où l'élévation était considérable, ces moyens ont été employés, et les éboulis ainsi réparés ont parfaitement tenu.

La consolidation des talus de la tranchée de Glomel, si longtemps en problème, a donc acquis de cette manière une solution certaine; en y joignant les revêtements des talus restant en terre végétale, avec les travaux accessoires décrits plus haut, on est parvenu à acquérir, pour ainsi dire, la certitude qu'avec un entretien continu, il n'arrivera plus aucun accident. La tranchée n'aura plus, il est vrai, cette régularité qu'elle devait avoir, s'il n'était rien arrivé; mais au moins l'ensemble présentera un aspect d'autant plus satisfaisant qu'on sera sûr qu'il n'y a plus à craindre d'avaries, qui pourraient suspendre subitement la navigation.

RÉSUMÉ.

Nous terminerons en donnant ici le résumé des moyens de consolidation, employés depuis l'origine des travaux, moyens qui peuvent tous être employés suivant les différentes circonstances qui se présentent.

1^o Lorsque , après avoir enlevé toutes les terres éboulées , on a mis à nu les diverses couches de terrain , si des sources distinctes se présentent , il faut , dans le cas où les talus ne sont pas très-élevés , leur donner un écoulement au moyen de fascines isolées des remblais environnants par l'interposition de gazons *tournés l'herbe en dedans ; et , lorsque les talus sont trop élevés , remplacer par des pierrées les fascines qui s'affaîsseraient sous la grande masse des remblais , et livreraient passage à l'eau , au lieu de la conduire hors des talus.

2^o Lorsque les sources ne se présentent pas isolées , mais que le terrain coupé fraîchement présente partout des suintements , quelle que soit la hauteur des talus , après avoir pratiqué les fouilles dans le terrain naturel , on en tapisse les parois d'une couche de pierres plus ou moins épaisse , et , dans le fond , on établit un emmétrage de pierres , destiné à donner écoulement aux eaux dans le fond du canal et à s'opposer en même temps à la poussée des terres. Pour les talus peu élevés , ces fouilles sont séparées les unes des autres et réunies par des redans transversaux , parallèles à l'axe du canal , et ayant une pente vers les fouilles pour y amener toutes les eaux des portions avoisinantes ; pour les talus très-élevés , il n'y a qu'une seule grande fouille de laquelle on a enlevé toutes les terres éboulées , et , dans cette fouille , on établit plusieurs contreforts suivant sa largeur. Les emmétrages dont on vient de parler sont protégés par des gazons dont l'herbe est tournée en dedans , puis enfin recouverts de remblais pour la formation des talus.

3^o Lorsqu'il n'y a que des dégradations superficielles , il suffit de recouvrir les talus d'une couche de terre végétale plus ou moins épaisse , suivant la nature du terrain , et de semer ensuite ces recouvrements avec des herbes propres à faire corps aux terres , de manière qu'elles ne soient pas enlevées par les pluies.

Pour donner écoulement aux eaux pluviales , on con-

struit des écharpes disposées comme il a été dit plus haut , et venant amener les eaux dans la cuvette par des aqueducs perpendiculaires à l'axe du canal.

Tels sont en résumé tous les moyens de consolidation employés à la tranchée de Glomel ; tous sont applicables à d'autres tranchées , et , suivant la nature plus ou moins mauvaise du terrain , on pourra mettre en usage celui qui paraîtra le plus convenable.

Glomel , le 15 février 1843.

Légende applicable aux figures.

Planche 37.

- Fig. 1* , plan des abords du point de partage de Glomel ;
Fig. 2 , projection verticale des talus et des banquettes de la tranchée , avec indication de la disposition des écharpes ;
Fig. 3 , empierrements entourés de gazons , remblais en terre franche , perrés , écharpes , etc. , pour la réparation des grands éboulis de 1840 , 1841 , 1842 , etc.
 (Coupe dans le talus par un plan perpendiculaire à l'axe du canal , faite au milieu de la fouille.)
Fig. 3 bis , *idem* ;
 (Coupe faite dans la même fouille suivant l'axe d'un des contre-forts.)
Fig. 4 , écharpes en gazons et revêtements en terre franche , sur 0^m.20 d'épaisseur ;
Fig. 5 , empierrements entourés de gazons , fascines , remblais en couches successives de terre franche et de déblais de la tranchée , perrés , écharpes , etc. , pour la réparation des grands éboulis en 1837 et 1838.

Planche 38.

- Fig. 1* , profils relevés sur les principaux éboulis ;
Fig. 2 , écharpes en gazons et revêtements en terre sur 0^m.10 d'épaisseur , dans le cas où il n'y a que des dégradations superficielles et où il existe des banquettes ;
 (Coupe dans le talus par un plan perpendiculaire à l'axe du canal.)
Fig. 3 , écharpes en gazons et revêtements en terre par redans , dans le cas où il n'y a que des dégradations extérieures et où il n'a pas été ménagé de banquettes.
 (Coupe dans le talus par un plan perpendiculaire à l'axe du canal.)
Fig. 4 , fascinage à un seul rang de fascines et revêtements en terre avec quelques gazons ;
Fig. 5 , fascinage à cinq rangs de fascines , revêtement en gazons et en terre.

N° 68.

NOTICE

*Sur les souterrains de Han et Revin ,
exécutés par voie de régie ;*

Par M. MICHAUX, Conducteur des ponts et chaussées.

SOUTERRAIN DE HAN.

Indications générales.— Le souterrain de Han, exécuté pour l'amélioration de la navigation de la Meuse, Pl. 39, fig. 1 et 2, est percé dans une roche calcaire d'un grain grossier, de couleur gris bleuâtre. Les strates sont inclinées généralement suivant une pente de 1^m.70 de hauteur pour 1^m.00 de base, leurs plans étant toujours tournés en face du sud. Leurs puissances varient entre 2^m.00 vers le côté d'amont du souterrain, et 0^m.20 seulement vers l'aval. A mesure que cette épaisseur de 2^m.00 décroît, la ténacité et la dureté de la pierre augmentent.

Ces roches appartiennent à l'étage calcaire inférieur du terrain anthraxifère ; elles font partie des terrains désignés sous le nom de *dewoniens* par les géologues anglais.

L'adhésion des strates entre elles est presque nulle : aussi a-t-on été obligé, après la première galerie percée, et malgré le grand danger de cette opération, de refouiller partout jusqu'à ce que l'on rencontrât le derrière des blocs qui avaient été entamés pour former les parois. On ne s'est arrêté, dans ce travail indispensable pour la sécurité du roctage inférieur, que lorsqu'on a trouvé de grandes surfaces, des joints réguliers, ou lorsque les strates se sont trouvées coupées en voûte naturelle.

Comme irrégularité singulière dans l'arrangement général des couches, on peut citer la disposition d'un banc énorme qui forme clef aux points *a* et *b* des profils

4 et 5, Pl. 39, *fig. 2*; son arête inférieure, qui a été seulement égrénée, est oblique par rapport à l'axe, et court, comme beaucoup d'autres coupes, avec une pente longitudinale de 0^m.25 par mètre.

Depuis les sept mois d'hiver que le souterrain de Hau est terminé et abandonné à lui-même, il ne s'est encore fait aucune chute; on espère donc qu'il sera possible d'éviter la construction d'un revêtement. En tous cas, ce résultat serait tout à fait acquis, si le temps d'épreuve qui va s'écouler jusqu'au terme d'achèvement des écluses, ne dément pas l'opinion qu'on s'est formée sur la qualité du rocher, et sur l'effet des mesures sévères de sécurité qui ont été prises en rochant partout jusqu'au vif.

Profil. — Le profil comporte 6^m.20 de hauteur pour 1^m.30 de tranche d'eau, et 6^m.40 de largeur sans banquettes de halage. Une main courante en fer sera posée à droite et à gauche, au moyen d'un boisage. Deux têtes en maçonnerie seront exécutées; celle d'amont fait corps avec l'écluse qui va être construite sur ce point.

Durée de l'exécution. — Les travaux ont commencé le 5 novembre 1838, ils ont fini le 5 septembre 1841. Ils ont été exécutés sur quatre exercices, et ont duré deux années et dix mois.

Le premier des sept puits a été à fond, le 14 janvier 1839, en soixante-dix jours de travail; le dernier puits n'a été à fond que le 20 mai 1839, après cent quatre-vingt-seize jours.

La première jonction de galerie de percement a eu lieu le 19 octobre 1839, après onze mois et demi de travail depuis l'origine.

La dernière jonction n'a eu lieu que le 20 août 1840, après vingt-un mois et demi.

Le déblai de fond n'a commencé sérieusement que vers cette dernière époque, c'est-à-dire à la fin du mois d'août 1840.

Importance du volume des déblais. — Le souterrain a

été percé sur 590^m.00 de longueur, mais il est réduit à 554^m.30 entre les deux têtes.

Le déblai total exécuté est de 25 100^{m³}.00.

Ce déblai est en totalité un roçage à la mine, sauf 250 mètres cubes environ de terre sableuse, à l'entrée de cinq puits.

Le déblai préparatoire pour sept puits, cinq galeries transversales et deux parties de galeries de percement, supprimées par suite du raccourcissement du souterrain, cube 1 300^{m³}.00 : soit 5 p. 100 du volume du déblai total.

Les 41 415^{m³}.00 de débris qu'a produits le cube massif de 25 100^{m³}.00 à raison d'un foisonnement de 1.65 pour 1.00, sont sortis, savoir :

Par la tête d'amont.	6 076 mètres.	} 41 415 mètr.
Par la tête d'aval.	11 507	
Par les puits, ensemble 1 120 104 seaux.	23 832	

Le profil normal du souterrain ne comporte que 35^m.30 de déblai par mètre courant ; mais la qualité et les formes particulières du rocher ont, dans quelques endroits, obligé à déblayer bien au delà du profil : ainsi, par exemple, on a été forcé de donner une section de 65^m.4.00 à 79^m.00 au delà de la tête d'amont, et une section de 53^m.4.00 à 518^m.00 du même point.

Relation entre les dépenses de différentes natures. — La dépense totale du souterrain s'élève à 529 000 francs.

Le travail a été fait par des ouvriers à la journée, sauf 29 962 fr., qui ont été dépensés par des tâcherons, soit 6 p. 100 de la somme totale. Cette proportion étant peu importante, et les tâcherons n'ayant exécuté ni plus vite ni à moindre prix que les ouvriers de la régie, on confond tous les éléments de prix des deux modes.

Dans la somme totale de 529 000 fr., les mains-d'œuvre figurent pour 346 531^{fr.}.26, ou 65.5 p. 100 de la dépense totale ; les fournitures ou dépenses diverses pour 182 468^{fr.}.74, ou 34.5 p. 100 de la dépense totale.

Le chapitre des mains-d'œuvre se divise ainsi qu'il suit :

INDICATION des MAINS-D'ŒUVRE.	QUANTITÉS totales de journées.	QUANTITÉS partielles de journées et de mètres cubes.	PAIX.	SOMMES.	SOMMES partielles.	SOMMES totales.
A la journée.	{	{	fr.	fr.	fr.	fr.
			3.00	30 672.48	30 672.48	
			2.60	75 720.94		
			2.50	45 637.43	122 867.47	
			2.00	1 509.10		
A la journée.	{	{	2.20	101 033.97		
			2.00	15 653.78	123 298.35	
			1.60	6 610.60		
			1.80	12 421.99		
			1.60	10 105.10	32 562.41	
Ouvriers divers, pompiers, charpentiers, etc.	{	{	1.50 à 0.75	10 035.32		
			4.50 à 1.76	7 168.43	7 168.43	
A la tâche.	{	{	11 à 5.35	14 687.78		
			0.025 à 0.0175	12 561.42		
			0.70 à 0.39	2 547.42		
			1.95 à 1.67	123.50		
			10	40.00		
Quantité totale de journées.	11 552.00	152 111.56		Dépense totale en journées.		346 531.26

Pour les ouvriers à la journée (94 p. 100) le prix moyen des journées de douze heures, dont six de nuit, a été, suivant le tableau d'autre part, de 2^{fr.}.25.

Le prix moyen des journées des ouvriers à la tâche a été de 2^{fr.}.59.

Le chapitre des fournitures et dépenses diverses se divise ainsi qu'il suit :

DÉSIGNATION.	QUANTITÉS.	PRIX.	SOMMES.	Proportions dans la dépense totale.
	kilog.	fr.	fr.	p. 100
1 Poudre.	27 155.26	2.115	57 469.33	10.9
2 Chandelles.	22 816.90	1.492	34 041.30	6.0
3 Réparation d'outils.	"	"	29 687.62	5.6
4 Barres à mine.	25 581.35	0.578	14 787.89	2.8
5 Outils autres que barres à mine.	"	"	11 691.38	2.2
6 Tubes à mine, gargousses, ferblanterie.	"	"	9 922.90	1.9
7 Planches, madriers, brouettes, échelles, outils en bois, charonnage, menuiserie.	"	"	7 060.83	1.3
8 Perches, paille, genêts, mannes, paniers.	"	"	3 120.30	0.6
9 Houille.	81 187.50	"	2 526.00	0.5
10 Bois de charpente.	"	"	2 029.07	0.0
11 Cordes, cordeaux, ficelles.	"	"	1 771.32	0.3
12 Amadou, etc.	"	"	1 735.63	0.3
13 Pompes, appareils d'épuisement, réparations.	"	"	1 629.35	0.3
14 Transport d'argent, outils, droits de douane.	"	"	934.50	0.2
15 Papier à cartouches.	"	"	833.20	0.2
16 Tonneaux, seaux, réparations.	"	"	831.25	0.2
17 Frais de médecins, médicaments.	"	"	629.05	0.1
18 Lanternes, vitrerie, instruments, clochettes.	"	"	619.92	0.1
19 Graisse, houille, suif, goudrons.	"	"	599.10	0.1
20 Terre grasse, chaux, briques, matériaux.	"	"	351.80	0.1
21 Fournitures de bureau.	"	"	197.00	0.0
Dépense totale en fournitures et dépenses diverses.			182 468.74	34.5

Détails relatifs aux déblais en général.

Pour un cube total de déblai de. 25 100 mètres.
 Il y a eu un nombre total de mines de. 113 291 mines.
 Qui avaient une profondeur réunie de. 53 602^{m.}35
 Quantité de journées de batterie (un mineur et un aide, douze heures) employées pour forer 53 602^{m.}25. . . . 33 982 journ.
 C'est par mètre cube de déblai un nombre de mines de. 4^{min.}.51
 Une profondeur de mine forée de. 2^{m.}.136
 Par journée de batterie, un nombre de mines de 3^{min.}.335
 Une profondeur de mine forée de. 1^{m.}.52
 Par mine, une profondeur moyenne de. 0^{m.}.473

*Détails relatifs au roctage pour puits, galeries transversales,
galeries de percement, amorces, etc.*

Pour un cube de déblai de. ($\frac{1}{2}$ environ).	8 066 mètres.
Il y a eu un nombre total de mines de.	64 700 mines.
Qui avaient une profondeur réunie de.	28 184 ^m .83
Quantité de journées de batterie (un mineur, un aide, douze heures) employées pour forer 28 184 ^m .83. . . .	20 605 journ.
C'est par mètre cube de déblai un nombre de mines de.	8 ^{min} .02
Une profondeur de mine de.	3 ^m .494
Par journée de batterie, un nombre de mines de	3 ^{min} .140
Une profondeur forée de.	1 ^m .36
Par mine, une profondeur moyenne de. . . .	0 ^m .435

Détails relatifs au roctage en grande section.

Pour un cube de déblai de. ($\frac{1}{2}$ environ).	17 034 mètres.
Il y a eu un nombre total de mines de.	48 591 mines.
Qui avaient une profondeur réunie de.	25 417 ^m .52
Quantité de journées de batterie employées pour les mines ci-dessus.	11 482 journ.
C'est par mètre cube de déblai un nombre de mines.	2 ^{min} .85
Une profondeur de mine.	1 ^m .48
Par journée de batterie, un nombre de mines de	4 ^{min} .23
Une profondeur forée de.	2 ^m .21
Par mine, une profondeur moyenne de. . . .	0 ^m .523

Détails relatifs à une mine moyenne.

Une mine a demandé à une batterie une fraction de journée. . .	0j.30
Aux divers autres ouvriers une fraction de journée.	0j.744
Elle a détaché un cube de rocher massif (4 mines $\frac{1}{2}$ par mètre cube).	0 ^m .222
Et un cube de débris foisonnés de.	0 ^m .366
Décomposition du prix moyen qu'a coûté une mine, calculé sur la totalité des travaux du souterrain :	

Main-d'œuvre.

0j.30 de journée de batterie.	1 ^{fr} .404	} 3 ^{fr} .06
0j.744 journée de chefs-mineurs, manœuvres, etc.	1 ^{fr} .656	
<i>A reporter.</i>		3 ^{fr} .06

Report. 3fr.06

Fournitures et dépenses diverses.

	fr.
ok.239 poudre.	0.505
ok.201 chandelles.	0.300
Réparations d'outils (1).	0.262
ok.226 barres à mine 0.57.	0.129
Outils autres que barres à mine.	0.103
Tubes à mine, ferblanterie.	0.088
Planches, madriers, outils en bois, etc.	0.062
Perches, paille, genêts, etc.	0.028
Treize autres articles.	0.129

1fr.61

Prix moyen d'un mine, compris débit et transport (2) des fragm. 4fr.67*Détails relatifs à un mètre cube de déblai.*

Décomposition du prix moyen d'un mètre cube de roctage, en calculant sur la totalité du déblai du souterrain :

Main-d'œuvre.

		fr.	fr.	
Chefs-mineurs.	0.41	3.00	1.23	} fr. 13.81
Mineurs.	1.92	2.55	4.90	
Aides-mineurs.	2.31	2.13	4.92	
Manœuvres.	0.82	1.58	1.30	
Ouvriers divers.	0.15	1.96	0.29	
Ouvriers à la tâche.	0.45	2.59	1.17	
		<i>A reporter.</i>		13.81

(1) Par journée de batterie de douze heures pendant toute la durée des travaux, il y a eu une quantité moyenne de raffilages de diamants de barres à mine. 14.5
 Réparations de têtes de barres à mine. 3.5
 Mises d'acier aux diamants *id.* 0.9
 Mises d'acier aux têtes *id.* 0.7
 Réparations aux masses à frapper, aux masses à casser, aux pinces, ringards, curettes, sondages, etc., etc. 0.5
 C'est par mètre cube de déblai, raffilages. . . 22.3 et par mine 5.0
 Réparations de têtes. 6.1 1.4
 Mises d'acier aux diamants. 1.5 0.3
 Mises d'acier aux têtes. 1.0 0.2
 Réparations diverses. 1.7 0.2
 Au prix moyen d'abonnement avec les maréchaux (0fr.70) par chaque journée de batterie de douze heures : fr.

Chaque raffilage de diamant revient à. 0.01 $\frac{1}{4}$
 Chaque réparation de tête de barre à mine revient à. 0.01 $\frac{1}{4}$
 Chaque mise d'acier aux diamants. 0.26
 Chaque mise d'acier aux têtes. 0.22
 Chaque réparation diverse. 0.18

(2) Le transport des débris compris dépôt provisoire dans les galeries, chaque transport et dépôt a coûté par les puits. 2.20
 Par les têtes. 1.83

La distance horizontale du transport par les puits est en deux parties de 75^m.00; la distance verticale est de. 27^m.00
Id. par les têtes est en deux parties de 420^m.00; la distance verticale est de. 9^m.00

<i>Fournitures et autres dépenses.</i>			Report	fr. 13 81
	kil.	fr.	fr.	
Poudre.	1.083	2.115	2.29	} fr. 7.27
Chandelles.	0 91	1.492	1.39	
Réparations d'outils.	0 00	0.00	1.18	
Barres à mine.	1.02	0.57	0.59	
Outils autres que barres à mine.			0.47	
Tubes à mine, ferblanterie.			0.40	
Planches, madriers, outils en bois, échelles, etc.			0.28	
Perches, paille, genêts.			0.12	
Treize articles, houille, bois de charpente, cordes, amadou, pompes, transports, papier à cartouches, tonneaux, frais de médecin, lanternes, graisse, terre grasse et fournitures de bureau.			0.58	
Prix du mètre cube, roctage, transport de débris et tous frais réunis.				21.08

D'après un calcul analogue à celui qui précède, on a trouvé que le roctage, pour puits, galeries transversales, galeries de percement, amorces de couches de fond, rigoles, etc., revenait par mètre cube, tous frais réunis, à 42^{fr.}40.

Le roctage en grande section d'une importance de deux tiers du volume total, est revenu par mètre cube, tous frais réunis, au prix de 10^{fr.}98.

Détails relatifs au mètre courant de souterrain.

Décomposition du prix de revient d'un mètre courant de souterrain :

<i>Main-d'œuvre.</i>			
	journ.	fr.	fr.
Chefs-mineurs.	18.44	3.00	55.34
Mineurs.	86.92	2.55	221.66
Aides-mineurs.	104.43	2.13	222.44
Manœuvres.	37.18	1.58	58.75
Ouvriers divers.	6.59	1.96	12.93
Tâcherons.	20.86	2.59	54.05
Total des journées.	274.42		

fr.
625.17

Fournitures et dépenses diverses.

	kil.	fr.	fr.
Poudre.	49.021	2.115	103.68
Chandelles.	41.166	1 492	61.42
Réparations d'outils.	0.000	0.000	53.56
Barres à mine.	46.807	0 57	26.68
Outils autres que barres à mine.			21.09
Tubes, ferblanterie.			17.90
Planches, madriers, outils en bois.			12.74
Perches, paille, genêts.			5.63
Treize articles (voir d'autre part).			26.49
Prix du mètre courant de souterrain ; transport de débris et tous frais compris.			954.36

fr.
329.19

On a compris dans le prix qui précède, 954^m.36, les dépenses qui ont été faites en dehors du développement actuel du souterrain, savoir : une galerie de percement de 31^m.30 de longueur en deçà de la tête d'amont ; une seconde galerie de percement de 4^m.20, supprimée au delà de la tête d'aval actuelle ; enfin les frais faits pour le creusement des puits, leurs galeries de communications, etc.

SOUTERRAIN DE REVIN.

Indications générales. — Le souterrain de Revin traverse un coteau de roche schisteuse et feuilletée. Le clivage très-régulier de cette pierre, accidentellement fort dure, admet cependant quelques rognons accompagnés chaque fois d'une ondulation de quartz. Les feuillets ont une épaisseur toujours inférieure à 0^m.15 ; leurs plans d'inclinaison au sud suivent une pente fixe de 1^m.60 de base pour 1^m.00 de hauteur. Ces roches appartiennent à la partie inférieure du terrain ardoisier ; elles sont probablement partie des roches siluriennes inférieures.

La nature de la pierre a exigé partout l'emploi de mines très-multipliées et rapprochées les unes des autres, circonstance défavorable et fort coûteuse qu'expliquent les dimensions infinies en surface des feuillets. Quoique brutes, les parois ont pu être dressées comme l'indiquent les profils en long et en travers, Pl. 39, *fig.* 3, 4 et 5. Il n'existe aucun doute sur la sécurité que présente la voûte ; les revêtements en maçonnerie sont donc tout à fait évités.

Profil. — Le profil comporte 6^m.40 de largeur sans banquette de halage, la hauteur est de 6^m.50 sur 178^m.00 de longueur du côté d'aval, et de 7^m.70 sur 35^m.00 seulement à partir de la tête d'amont, afin de faciliter l'entrée des bateaux à toute hauteur d'eau, la porte de garde à construire devant être presque contiguë à la tête d'amont, et le plan d'eau de cette courte dérivation devant être très-variable.

Durée de l'exécution. — Les travaux ont commencé le 3 novembre 1838, ils ont fini le 18 mars 1841; ils ont été exécutés sur quatre exercices, et ont duré deux années et quatre mois et demi.

Le déblai a été entamé, au moyen d'une chambre d'entrée et rampe à l'amont, par un puits au centre à 7 mètres de l'axe, et par un puits dans l'axe tangent à la tête d'aval. Par la tête d'amont, on a pu arriver au déblai utile au bout de deux mois; le puits central n'a été à fond qu'en cinq mois, quoiqu'il n'eût que 25 mètres de profondeur, et le puits d'aval a été à fond en trois mois.

La première jonction des galeries de percement, entre l'amont et le puits du centre, a eu lieu le 3 février 1840, c'est-à-dire après quinze mois de travail depuis l'origine.

La deuxième jonction de galeries, côté d'aval, n'a eu lieu que le 13 juillet 1840, après vingt mois et demi de travail depuis l'origine.

La distance percée par le secours du puits central seul, n'a été que de 36 mètres; le puits n'a évité qu'un retard fixe de quatre-vingt-quinze jours, à raison de 0^m.38 linéaires que perçaient ensemble les deux ateliers d'amont et d'aval dans la partie centrale et à l'époque des rencontres.

Le déblai de deuxième couche et de fond n'a commencé que vers le 3 avril 1839, c'est-à-dire après cinq mois de travail depuis l'origine, et quand il y avait déjà 35 mètres de pénétration par l'issue d'amont. On n'a pas obtenu une économie fort sensible en traitant le déblai en grande section, plutôt par ce dernier côté que par l'aval, où la pierre se trouve cependant à contre-sens.

Volume des déblais. — Le souterrain a été percé à 230 mètres; mais il est réduit à 213^m.20 entre les deux têtes. Le cube total du déblai est de 10 603^m.16.

Il se divise ainsi qu'il suit :

Entre les deux têtes.	8 595 ^{m.c.} .44 (81 p. 100)
Déblai préparatoire et de tranchée :	
Chambre d'amont.	770 ^{m.} .00
Longueur de souterrain de 3 ^{m.} .00 supprimée en amont.	138 ^{m.} .00
Puits central et galeries de communicat.	104 ^{m.} .00
Puits d'aval et partie de souterrain de 13 ^{m.} .80, supprimée.	102 ^{m.} .28
Roitage de tranchée en aval.	893 ^{m.} .44
Total général.	10 603^{m.c.}.16

La régie a aussi exécuté un cube de 12 544 mètres de déblais de terrassements simples dans la tranchée d'aval, mais les éléments et le prix de ce travail ne seront pas confondus dans les données qui suivront.

Foisonnement. — Les 18 555^{m.c.}.00 de débris qu'ont produits 10 603^{m.c.}.00 massifs à raison d'un foisonnement de 1.75 pour 1, ont été évacués :

Par l'amont 12/20.	11 133 ^{m.} .00
Par le puits central 1/20.	927 ^{m.} .75
Par la tranchée d'aval 7/20.	6 494 ^{m.} .25
	18 555 ^{m.} .00
La dépense totale s'élève à.	281 500 fr.

Distinction entre les dépenses. — Dans la division de chaque nature de dépenses on aura tel égard que de droit à un chiffre de :

9 518^{fr.}.92 dépensés pour 12 546^{m.}.00 de terrassements de tranchée ;
 29 244^{fr.}.21 soit 10 p. 100 environ dépensés par des ouvriers à la tâche ;
 20 213^{fr.}.00 pour divers roitages, enrochements de rives, etc.

Tous travaux faits en dehors du développement actuel du souterrain.

Dans la quantité totale des dépenses faites (281 500 fr.) les mains-d'œuvre figurent pour, 189 985^{fr.}.59, ou 67.5 pour 100 ; les fournitures et dépenses diverses pour 91 514^{fr.}.41, ou 32.5 pour 100.

Mains-d'œuvre. — Le chapitre des mains-d'œuvre se divise ainsi qu'il suit :

DÉSIGNATION des MAINS-D'ŒUVRE.	QUANTITÉS totales de journées.	QUANTITÉS partielles de journées et de mètres cubes.	PRIX.	SOMMES.	SOMMES partielles.	SOMMES totales.
A la journée.	Chefs-mineurs. Mineurs. Aides-mineurs. Manœuvres. Ouvriers divers. Voituriers.	journ. 3 759.50 1 780.83 20 021.65 640 61 25 146.62 5 715.29 808.58 9 623.76 5 204 90 1 604 65 156 50	fr. 2.80 à 2.60 2.50 2.40 2.00 2.20 2.00 1.80 à 1.60 1.80 1.60 à 0.75 3.00 à 1.25 15.00 à 7.00	fr. 9 816.30 4 452.10 48 051.96 1 281.22 55 322.56 11 430.58 1 307.86 17 322 77 7 164.18 3 086.78 1 505.07	fr. 9 816.30 53 785.28 68 061.00 24 486.95 3 086.78 1 505.07	160 741.38
A la tâche.	Roctages. Terrassements de tranchée. Transports de débris. . . .	mèt. 2 102.07 12 544 77 13 419 63 2 474.27	10 22 à 2.52 0.70 à 1.25 0.225 à 0.375 0.30 à 1.25	13 952.42 9 518.92 3 649.58 2 133.29	23 471.34 5 782.87	29 244 21
Nombre total de journées. . . .		86 150.79		Dépense totale en journées. .		
				189 985.59		

Pour les ouvriers à la journée (90 pour 100 de la totalité) le prix moyen des journées de douze heures, dont six de nuit, a été, suivant le tableau d'autre part, de 2^{fr.} 16.

Le prix moyen des journées des ouvriers à la tâche (10 pour 100 de la totalité), a été de 2^{fr.} 503.

Fournitures et dépenses diverses. — Le chapitre des fournitures et dépenses diverses se divise ainsi qu'il suit :

DÉSIGNATION.	QUANTITÉS.	PRIX.	SOMMES.	Proportions dans la dépense totale.
	kil.	fr.	fr.	p. 100.
1 Poudre.	13 536 67	2.00 à 2.25	27 243.53	9.7
2 Réparation d'outils par abon- nement et à la pièce.	"	"	22 061.26	7.8
3 Barres à mine.	17 096 92	0.52 à 0.85	10 872.07	3.9
4 Tubes à mine, cheminées d'ap- pel en tôle, ferblanterie, gar- gousses.	"	"	10 023.15	3.6
5 Chandelles.	5 929 20	1.33 à 1.60	8 582.95	3.0
6 Outils autres que barres à mi- ne, ferrures.	"	"	3 575.00	1.3
7 Planches, madriers, brouettes. menuiserie.	"	"	2 910.56	1.0
8 Bois de charpente, blindages.	"	"	1 639.93	0.6
9 Pompes et réparations.	"	"	809.85	0.3
10 Papier à cartouches.	"	"	722.15	0.3
11 Perches, pailles, seaux, genêts, liens, clochette, instruments, lanternes, mannes.	"	"	664.70	0.2
12 Houille, amadou.	"	"	649.66	0.2
13 Frais de médecins, médicam.	"	"	563.45	0.2
14 Matériaux, maçonnerie.	"	"	538.65	0.2
15 Cordages.	"	"	357.65	0.1
16 Transports d'argent, d'outils, de papier.	"	"	204.80	0.1
17 Fournitures de bureau.	"	"	104.05	0.0
Dépense totale en fournitures diverses.			91 514.41	32.5

Détails relatifs au roctage en général.

Pour un cube total de déblai en roctage de 10 603^{m.} 16
dont 1 903^{m.} 72 ou 18 pour 100 en dehors des têtes. . . . 10 603^{m.} 16
Il y a eu un nombre total de mines de. 90 055 min.
Qui avaient une profondeur réunie. 35 139^{m.} 82
Quantité de journées de batterie (un mineur et un aide,
douze heures) employées pour forer 35 139^{m.} 82 linéaires. 27 000 jour.
Quantité de poudre employée. 13 536^{kg.} 67

C'est par mètre cube de déblai un nombre de mines de	8 ^{min.} .49
Une profondeur de mine forée de	3 ^{m.} .314
Par journée de batterie, un nombre de mines de	3 ^{min.} .336
Une profondeur de mine de	1 ^{m.} .302
Par mètre cube de déblai, un poids de poudre de	1 ^{k.} .277
Par mine, un poids de poudre de	0 ^{k.} .150

Détails relatifs au roctage pour puits, galerie, amorces, rigoles, etc.

Pour un cube total de déblai (22 p. 100 du déblai total), de	2 344 ^{m.} .00
Il y a eu un nombre total de mines de	34 778 min.
Qui avaient une profondeur réunie de	14 252 ^{m.} .82
Quantité de journées de batterie employées pour forer ces mines.	11 274 jour.
Quantité de poudre employée.	5 523 ^{k.} .35

C'est par mètre cube de déblai un nombre de mines de	14 ^{min.} .82
Une profondeur de mine de	6 ^{m.} .081
Par journée de batterie, un nombre de mines de	3 ^{m.} .085
Une profondeur de mine de	1 ^{m.} .264
Par mètre cube de déblai, un poids de poudre de	2 ^{k.} .356
Par mine, un poids de poudre de	0 ^{k.} .159

Détails relatifs au roctage en grandes sections.

Pour un cube de déblai de (78 pour 100 du déblai total).	8 259 ^{m.} .16
Il y a eu un nombre de mines.	55 277 min.
Qui avaient une profondeur réunie de	20 887 ^{m.} .00
Quantité de journées de batterie employées pour forer ces mines.	15 726 ^{m.} .00
Quantité de poudre employée.	8 013 ^{m.} .32

C'est par mètre cube de déblai un nombre de mines de	6 ^{min.} .69
Une profondeur de mine de	2 ^{m.} .529
Par journée de batterie, un nombre de mines de	3 ^{min.} .515
Une profondeur de mine de	1 ^{m.} .328
Par mètre cube de déblai, un poids de poudre de	1 ^{k.} .031
Par mine, un poids de poudre de	0 ^{k.} .145

Détails relatifs à une mine moyenne.

Une mine a demandé à une batterie, une fraction de journée de	6j.299
Aux divers autres ouvriers une fraction de journée de	0j.357
A détaché un cube de roc massif (8 ^{min.} .5) par mètre cube.	0 ^{m.} .118
Déchets soignés.	0 ^{m.} .260

Décomposition du prix moyen de revient d'une mine en calculant sur la totalité du rochage exécuté, 10 603 mètres :

Main-d'œuvre.

	fr.	fr.
0 ^k .299 de batterie à 4fr..503.	1.35	} 2.00
Temps des autres ouvriers.	0 65	

Fournitures et dépenses diverses.

Poudre 0 ^k .1503 à 2fr..013.	0.303	} 1.02
Réparations d'outils (3).	0.245	
Barres à mine, 0 ^k .19 à 0fr..636.	0.121	
Tubes à mine, tôlerie.	0.111	
Chandelles, 0 ^k .066 à 1fr..446.	0.095	
Outils autres que barres à mine.	0.040	
Planches, madriers, brouettes.	0.032	
Blois, blindages, etc.	0.018	} 0.051
Neuf autres articles.	0.051	

Prix moyen d'une mine, compris débit des blocs,
transport (4) des fragments, etc., etc. 3.02

(3) Par journée de batterie de douze heures et pendant la durée des travaux, il y a eu :

Une quantité de raffilages de diamants de barres à mine de.	21.0
Réparations de têtes de barres à mine de.	1.6
Mises d'acier aux diamants.	1.9
aux têtes.	0.5
Réparations diverses aux pics, ringards, curettes, sondages.	0.5
C'est par mètre cube : raffilages de diamants.	53.5 et par mine 6.3
réparations des têtes.	4.1 0.5
mises d'acier aux diamants.	4.8 0.6
mises d'acier aux têtes.	1.3 0.1
réparations diverses.	1.3 0.1

Au prix moyen d'abonnement avec les maréchaux de la régie travaillant sur place, 0fr..85 par chaque journée de batterie de douze heures :

Chaque raffilage de diamant revient à.	0fr..015
réparation de tête à.	0fr..012
mise d'acier aux diamants.	0fr..20
mise d'acier aux têtes.	0fr..15

Chaque réparation aux autres outils. 0fr..12

(4) Le transport des débris a coûté, compris dépôt provisoire dans les galeries, charge, transport et dépôt :

Par puits pour 40 mètres de distance horizontale en deux parties et 25 mètres de distance verticale.	1fr..55
Pour les têtes, 210 mètres de distance horizontale, en deux parties et 8 mètres de distance verticale.	1fr..15

Détails relatifs à un mètre cube de roctage.

Décomposition du prix moyen de revient d'un mètre cube de roctage, en calculant sur le volume total du roctage :

Mains-d'œuvre.

	jours.	fr.	fr.	
Chefs-mineurs.	0.354	2.611	0.924	} fr. 17.02
Mineurs.	2.117	2.396	5.07	
Aides-mineurs.	2.987	2.149	6.419	
Manœuvres.	1.398	1.651	2.308	
Ouvriers divers et voituriers. . . .	0.166	0.000	0.433	
Ouvriers à la tâche, terrassiers non compris.	0.757	2.458	1.861	

Fournitures et dépenses diverses.

	kil.	fr.	fr.	
Poudre.	1.277	2.013	2.570	} 8.63
Réparations d'outils.	0.000	0.000	2.081	
Barres à mine.	1.612	0.636	1.025	
Tubes à mine, tôlerie.	0.000	0.000	0.945	
Chandelles.	0.559	1.446	0.809	
Outils autres que barres à mine.			0.337	
Planches, madriers, brouettes.			0.274	
Bois, blindages, etc.			0.154	
Neuf autres articles.			0.434	

Prix du mètre cube de roctage, comprenant débit des blocs, transport et tous frais réunis. 25.65

Le roctage pour puits, galeries de percement et de communication, pour amorces, rigoles, approche des parois, etc. (22 pour 100 du volume total), est revenu, tous frais quelconques réunis, au prix de 48^{fr.}.28 :

Dont en main-d'œuvre. . . . 31^{fr.}.89 (66 pour 100).
Et en dépenses diverses. . . 16^{fr.}.39 (34 pour 100).

Le roctage en grande section d'une importance de 78 pour 100 du volume total, est revenu, par mètre cube, tous frais quelconques réunis, au prix de 19^{fr.}.22 :

Dont en main-d'œuvre. . . . 12^{fr.}.79 (67 pour 100).
Et en dépenses diverses. . . 6^{fr.}.43 (33 pour 100).

Détails relatifs à un mètre linéaire de souterrain.

Décomposition du prix de revient d'un mètre linéaire de souterrain :

Mains - d'œuvre.

	jours.	fr.	fr.	
Chefs-mineurs.	17.64	2.611	46.04	} fr. 846.41
Mineurs.	105.267	2.396	252.22	
Aides-mineurs.	148.55	2.149	319.23	
Manœuvres.	69.57	1.651	114.86	
Ouvriers divers, voituriers. .	8.26	0.000	21.53	
Ouvriers à la tâche.	37.64	2.458	92.53	
Total des journées.	386.92			

Fournitures et autres dépenses.

	kil.	fr.	fr.	
Poudre.	63.493	2.013	127.81	} 429.24
Réparations d'outils.	0.000	0.000	103.48	
Barres à mine.	80.112	0.636	51.00	
Tubes à mine.	0.000	0.000	47.01	
Chandelles.	27.81	1.446	40.21	
Outils autres que barres à mine.			16.77	
Planches, madriers, brouettes.			13.65	
Bois, blindages.			7.69	
Neuf autres articles.			21.62	

Prix de revient du mètre linéaire de souterrain, roctage, débit, transport et tous autres frais réunis. 1 275 65

Ce prix comprend : les dépenses faites pour une distance de 3 mètres de souterrain supprimée à l'amont ; celles faites pour exécuter un cube de roctage de 1 900 mètres dans les deux tranchées ; il comprend enfin les dépenses faites pour divers travaux accessoires indépendants du souterrain et en dehors des deux têtes, sauf 9 500 francs qui représentent 12 500^{m.c.}.00 de terrassements simples exécutés aussi par la régie dans la tranchée d'aval. Ces diverses dépenses étant déduites du prix ci-dessus, 1275^{fr.}.65, il ne s'élève plus alors suivant calcul fait, qu'à 1180^{fr.}.00, toutes proportions conservées.

N° 69.

RECHERCHES STATISTIQUES (*).

*Sur les gisements et carrières de pierres à ciments
et à chaux hydrauliques;*

Par M. VICAT, Ingénieur en chef directeur des ponts et chaussées.

Les départements désignés pour être explorés en 1842 étaient : la Mayenne, l'Ille-et-Vilaine, la Manche, le Calvados et l'Orne ; leurs territoires réunis comprennent une immense étendue de formations intermédiaires distinguées géologiquement sous le nom de *terrains de transition*. Quelques dépôts tertiaires en interrompent l'uniformité. Le granite surgit vers le centre de cet espace comme le ferait un groupe d'îlots isolés, et l'oolithe et la craie des grès verts limitent vers l'est et la côte du Calvados, jusqu'aux environs de Valognes, le contour oriental et nord de cet ensemble.

OBSERVATIONS PARTICULIÈRES SUR CHAQUE DÉPARTEMENT (**).

Mayenne. — Les calcaires intermédiaires ordinaire-

(*) Voir les huit autres articles précédemment publiés dans les *Annales des ponts et chaussées* :

<i>Mémoires et documents</i> ,	1834, 1 ^{er} semestre, n° CLXXVI, page 224.
<i>Idem</i> ,	1835, 1 ^{er} semestre, n° CCXXXII, page 357.
<i>Idem</i> ,	1836, 2 ^e semestre, n° CCLXXX, page 129.
<i>Idem</i> ,	1837, 2 ^e semestre, n° CCCXXVII, page 334.
<i>Idem</i> ,	1839, 2 ^e semestre, n° CCCLXXXIII, page 227.
<i>Idem</i> ,	1840, 1 ^{er} semestre, n° CDVI, page 368.
<i>Idem</i> ,	1841, 2 ^e semestre, n° 16, page 35.
<i>Idem</i> ,	1842, 1 ^{er} semestre, n° 31, page 118.

(**) M. Vicat a joint à ce mémoire divers tableaux de tous les échantillons par lui explorés et analysés pour chaque département.

L'étendue de ces tableaux n'a pas permis de les insérer aux *Annales* ; mais ils sont imprimés et tirés à part, de manière à pouvoir être réunis en un volume séparé.

ment compacts et d'un gris foncé ou noirâtre sont généralement très-purs d'argile et ne peuvent conséquemment fournir que des chaux grasses. Cependant d'heureuses et nombreuses exceptions sont venues infirmer ce qu'il pouvait y avoir de trop absolu dans l'arrêt prononcé contre ces calcaires, et il sera permis désormais d'explorer les terrains auxquels ils appartiennent avec chances de succès.

Le département de la Mayenne nous fournit plusieurs exemples à l'appui. Nous trouverons sur le seul canton de Bays dans les calcaires compacts des abondantes carrières des Étalnaux, de la Boissière, etc., des pierres à chaux hydrauliques et éminemment hydrauliques et à ciments. Nous indiquerons pour le canton d'Évron, le calcaire gris noir-violâtre du vieux cimetière de Vimarée, tenant 19 pour 100 d'une argile mêlée de très-peu de sable, et le calcaire magnésien du champ de Chable, dans la commune de Saint-Georges-sur-Erves. Pour le canton de Montsurs, un calcaire à structure schisteuse et compacte d'un roux terreux sale, de la commune de Brée, lequel tenant 20 pour 100 d'argile doit donner une chaux éminemment hydraulique. Pour le canton d'Argentré, les carrières du Vieux-Chemin, situé près de la Teignouse, lesquelles peuvent fournir des pierres à ciments et à chaux éminemment hydrauliques. Dans le canton de Laval, les carrières du champ du Moulin-à-Vent, du champ du Murger et du closeau des Plantes-d'Aligné, commune de Grenoux, également très-riches en calcaire argileux; enfin le gisement de la Grande-Lande, commune de Bouère, dans le canton de Grès-en-Bouère.

Ille-et-Vilaine. — Il y a dix-neuf ans que nous eûmes mission de chercher en Bretagne des calcaires à chaux hydrauliques pour les travaux des canaux d'Ille-et-Rance, et de Nantes à Brest. Nous dûmes commencer nos expé-

riences par le département d'Ille-et-Vilaine, et nous fûmes assez heureux pour trouver dans le dépôt tertiaire de Pompéan près de Rennes, un banc verdâtre connu sous le nom de Brûle-Mort-Vert, et chimiquement constitué pour donner une bonne chaux hydraulique. Le Brûle-Mort de Pompéan a, depuis cette époque, fourni la chaux employée dans tous les ouvrages importants du département. Le banc exploité comprend deux variétés que l'on mêle. La première tient 20 pour 100, la seconde seulement $8\frac{1}{2}$ pour 100 d'argile. Par un triage on diviserait évidemment les fournitures et l'on obtiendrait à volonté de la chaux éminemment ou moyennement hydraulique.

Les terrains de transition de l'Ille-et-Vilaine n'étant qu'une continuation de ceux de la Mayenne doivent aussi pouvoir offrir des parties chargées en argile; telles sont en effet celles que l'on exploite à Quenon dans la carrière de Saint-Aubin-d'Aubigné et aux environs des Corps-Nus dans le canton de Jansé. Un échantillon de la dernière carrière a donné 32 pour 100 d'argile mêlée d'un peu de sable, ce qui constitue les proportions d'une bonne pierre à ciment.

On trouve à Saint-Grégoire et vers la limite des Côtes-du-Nord, des bancs ou conglomérats coquilliers très-puissants, mais dont on n'a jamais pu tirer que des chaux grasses.

Manche. — Les échantillons que nos camarades ont dû recueillir dans ce département ne nous sont pas parvenus; nos instantes réclamations à ce sujet étant restées sans réponse, nous ne pouvons mentionner ici la Manche, que pour mémoire. Les lambeaux de terrain liassique situés autour de Valognes et de Carentan auraient pu, peut-être, fournir des matériaux importants et révéler des richesses d'autant plus précieuses que l'emploi des matières hydrauliques est d'un grand et fréquent usage dans

les ports voisins, et surtout à Cherbourg; il est donc à regretter que la difficulté dont nous venons de parler soit intervenue : il n'a pas été en notre pouvoir de la surmonter.

Calvados. — Quoique assez bien partagé sous le rapport des terrains, puisqu'on y trouve le lias, l'oolithe, la craie et les dépôts tertiaires de l'étage moyen, le Calvados n'a pas donné tout ce qu'on était en droit d'attendre de cette variété de formations. Cependant des calcaires à chaux hydrauliques et moyennement hydrauliques se sont présentés à Saint-Dez, commune d'Allemagne, canton de Caen; à la Loude, commune de Clinchamp, canton de Bourguebus; au pré Potin, commune de Ferté-le-Pernet, canton de Tilly-sur-Seule; dans la commune de Saint-Jacques-de-Lizieux, et notamment dans le canton de Ryes, au pied des falaises, commune de Port-en-Bessin, et dans les communes de Commes, etc., etc.; les calcaires à ciments se sont aussi montrés en quelques points du canton d'Harcourt, aux carrières de Clecy dans tous les bancs, et à la pièce Fesquet, commune de Saint-Loup, canton de Mézidou. Nul doute que, si besoin était, des investigations plus étendues n'amenassent des résultats plus satisfaisants.

Orne. — La collection de ce département a produit d'excellents résultats : la formation crétacée du canton de Moulin-la-Marche, les dépôts tertiaires des cantons de Pervençères, de Tourouvres et de Longny ont présenté en calcaires à chaux hydrauliques, éminemment hydrauliques et à ciments, des gisements très-nombreux et qu'il serait trop long d'énumérer ici. Nous nous bornons à appeler l'attention, savoir : pour les chaux hydrauliques sur la variété gris cendré de la carrière de Moulin-la-Marche, canton de ce nom; pour les ciments sur les

carrières des communes de Saint-Hilaire, de Maheru et de Courtomer, dans le même canton, et presque sans exception sur toutes les localités du canton de l'Aigle indiquées au tableau.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES.

Nous n'avons que très-rarement rencontré dans les calcaires de transition des départements précédemment explorés, la dose d'argile convenable aux chaux hydrauliques et à fortiori aux ciments; nous pouvons en dire autant des dépôts tertiaires de l'étage moyen qui règne dans le bassin de la Loire, depuis Cosne jusqu'à Angers. Les observations contraires résultant de l'examen des calcaires analogues de l'Orne viennent justifier ce que nous avons dit ailleurs de l'impossibilité de fixer d'une manière précise et invariable les gisements de pierres à chaux hydrauliques et à ciments, par la nature des terrains et la distinction des groupes en lesquels ils se subdivisent. Ces terrains, quoique formés à des époques que l'on croit contemporaines, et sous l'influence d'une cause générale, n'en ont pas moins reçu, comme on le voit, des modifications de composition très-variables, non-seulement de bassin à bassin, mais aussi dans l'étendue très-circonscrite d'une même localité. Il suit de là que l'espèce d'interdit dont on a frappé certaines formations, ne doit pas ôter l'espérance d'y rencontrer de ces mélanges intimes d'argile et de calcaire auxquels la cuisson donne de si importantes propriétés pour nos travaux.

Les chaux hydrauliques sont généralement argileuses; en d'autres termes, elles doivent, comme chacun le sait, leurs propriétés à la présence d'une certaine quantité de silice et d'alumine; mais il existe aussi des chaux hydrauliques éminemment siliceuses, et il est bon de noter qu'alors ces chaux ne peuvent plus se classer sur la même échelle que les premières; nous en donnerons un remar-

quable exemple : la chaux hydraulique qui s'exploite sur les bords du Rhône dans le département de l'Ardèche, et que l'on connaît dans le midi de la France, sous le nom de chaux du Theil, jouit d'une réputation justement méritée et passe même pour exceller sur les chaux réputées éminemment hydrauliques dans les autres départements. Le calcaire dont elle provient appartient à l'étage inférieur de la craie. Ce calcaire, traité par un acide faible, laisse un résidu de 14 à 15 pour 100 seulement. Or, suivant ce chiffre, la chaux du Theil n'appartiendrait qu'à la classe des chaux moyennement hydrauliques; mais une analyse complète montre bientôt que ce résidu est presque exclusivement siliceux, et l'on trouve que la dite chaux après parfaite cuisson contient sur 100 parties, savoir :

Chaux.	70.50
Silice.	23.00
Alumine, magnésie et traces de fer.	6.50
	<hr/>
	100.00

La chaux du Theil et toutes les chaux de la rive droite du Rhône dans la Drôme sont à peu près identiques de composition. On les emploie avec un égal succès à l'air et sous l'eau, depuis un temps immémorial; les ingénieurs qui voient pour la première fois la diversité des constructions auxquelles on les applique, et les étonnants résultats qu'on en obtient, en sont dans l'admiration. D'autre part, à Metz, par exemple, les chaux hydrauliques argileuses provenant de la formation liassique rendent également les plus grands services, et jamais on n'a entendu dire que les maçonneries, soit à Metz, soit dans la Drôme et l'Ardèche, aient obéi à des poussées et donné lieu à des accidents; nous avons été surpris que de semblables effets observés dans quelques départements des côtes de la Manche, par suite de l'emploi des chaux de Tournay, aient pu être attribués à l'hydraulicité de ces mêmes chaux, et que l'on soit parti de là pour considérer la poussée de

certaines mortiers comme une conséquence générale de l'hydraulicité des chaux employées. Nous devons à l'obligeance de M. l'inspecteur général des ponts et chaussées Raffeneau de Lile, d'avoir pu enfin étudier les chaux de Tournay, et par les substances calcaires qui les produisent et par elles-mêmes. Nous allons rendre compte de cette étude.

Les échantillons que nous avons reçus, sont au nombre de onze, savoir : cinq de Crèvecœur près d'Antony ; trois de Bruyelles, carrière du Pavé, et trois d'Allain. Ces calcaires sont noirâtres et plus ou moins compactes, leur tissu est évidemment imprégné de matières charbonnées. Aussi appartiennent-ils aux calcaires carbonifères voisins des terrains houillers. Les matières charbonnées disparaissent par la calcination. Attaqués par l'acide nitrique ces calcaires font subitement et vivement effervescence, d'où il suit que la magnésie ne doit s'y trouver (si tant est qu'elle s'y trouve) qu'en petite quantité. Les résidus non attaqués par les acides étant calcinés à la chaleur rouge deviennent gris cendré de noirs qu'ils étaient, ce qui annonce peu ou point de fer. Les dissolutions rendues neutres par l'ammoniaque abandonnent une quantité d'alumine presque impondérable. Si l'on précipite ensuite la chaux par l'oxalate d'ammoniaque, que l'on filtre et qu'on traite la liqueur filtrée par l'ammoniaque et le sous-phosphate de soude, on n'obtient qu'un nuage, représentant à peine quelques millièmes de phosphate ammoniaco-magnésien.

Il résulte de ces essais que la qualité hydraulique des pierres dont il s'agit, si elle est due à la présence de l'argile, pourrait être mesurée sans erreur sensible par le dosage des premiers résidus des dissolutions nitriques ou hydrochloriques. Or, voici les résultats que donnent ces dosages.

Echantillons de Crèvecœur près d'Antony.	Résidus insolubles ou argile.	Résultats moyens.	
1 ^{er} échantillon. . .	5.75	8.85	{ Il résulte du tableau ci-contre que sur cinq échantillons de Crèvecœur, les deux premiers ne doivent donner que de la chaux grasse, le quatrième de la chaux faiblement hydraulique, le troisième et le cinquième de la chaux moyennement hydraulique, si les ré- sidus sont argileux, ou de la chaux hydraulique s'ils sont siliceux.
2 ^e id. . .	5.25		
3 ^e id. . .	11.25		
4 ^e id. . .	8.25		
5 ^e id. . .	13.75		
Echantillons de Bruyelles, carrière du Pavé.			
6 ^e échantillon. . .	6.75	9.41	{ Que sur trois échantillons de Bruyelles le n ^o 6 ne doit donner qu'une chaux grasse, le n ^o 7 et le n ^o 8 des chaux faiblement et moyennement hydrau- liques, à moins que les résidus ne soient exclusivement siliceux.
7 ^e id. . .	9.25		
8 ^e id. . .	12.25		
Echantillons de la carrière d'Allain.			
9 ^e échantillon. . .	9.00	9.91	{ Que sur trois échantillons d'Allain, les n ^{os} 9 et 11 ne doivent donner que des chaux faiblement hydrauliques, et le n ^o 10 une chaux moyennement ou simplement hydraulique, selon que le résidu serait argileux ou exclusi- vement siliceux.
10 ^e id. . .	12.00		
11 ^e id. . .	8.75		

Reste à savoir en quelles quantités les variétés ci-dessus interviennent dans les exploitations qu'elles alimentent.

A l'envoi des échantillons se trouvaient jointes trois bouteilles hermétiquement fermées, et contenant, la première, de la chaux des fours de Crèvecœur non éventée, c'est-à-dire prise au four en pleine activité; la seconde, de la chaux des fours de Bruyelles en magasin depuis un mois; la troisième enfin de la chaux d'Allain en magasin depuis plus longtemps.

La chaux de Crèvecœur a fait en peu d'instant effervescence avec l'eau, et s'est éteinte assez complètement.

La chaux de Bruyelles s'est montrée plus paresseuse, et a laissé des grumeaux en assez grande quantité.

La chaux d'Allain a été plus paresseuse encore que la précédente, et n'a donné qu'une pâte courte, pleine de grumeaux et de fragments restés à l'état de pierres.

Cette dernière chaux, essayée par l'acide nitrique, a laissé dégager une grande quantité d'acide carbonique.

Prise telle qu'elle se trouve dans la bouteille , puis pulvérisée et passée au tamis fin et calcinée au rouge blanc pendant une demi-heure, elle a perdu, déduction de l'eau, 16 pour 100 d'acide carbonique.

La chaux de Bruyelles, traitée de la même manière, en a perdu 10 pour 100, et la chaux de Crèvecœur seulement 5 pour 100. Après vingt jours d'immersion cette dernière chaux était presque aussi molle que le premier jour.

Les chaux de Bruyelles et d'Allain avaient fait prise , mais tout en recélant encore quantité de fragments restés tels quels. Après deux mois la cohésion de ces deux chaux était assez remarquable , surtout pour la chaux d'Allain. L'eau du bain d'immersion ne dissolvait plus rien.

Ces diverses circonstances nous ont conduit à conclure que très-probablement la plus grande partie de l'acide carbonique trouvé dans ces dernières chaux n'a pas été fournie par l'air ambiant pendant leur séjour en magasin , mais qu'elle appartenait à des fragments incuits ; et en effet , les chaux hydrauliques qui se carbonatent par un commencement d'extinction spontanée , perdent leur hydraulicité en grande partie , et conservent toutefois la faculté de s'éteindre lentement ; le caractère des incuits au contraire c'est d'imiter les ciments lorsqu'il existe un certain rapport entre la partie transformée en chaux et l'argile des dits incuits. Or, les ciments ne subissent pas l'extinction , et les fragments restés entiers dans les chaux éteintes et immergées de Bruyelles et d'Allain ne l'ont pas subie non plus.

Pour ne rien laisser dans le doute , nous avons complété la cuisson d'une partie de la chaux d'Allain restée en bouteille , et cette partie ainsi cuite s'est éteinte en entier sans difficulté , et a fait prise après l'immersion plus tôt que la moyenne des essais 9 , 10 et 11 ci-dessus ne le faisait pressentir. Cette dernière circonstance nous a décidé à analyser la chaux ainsi ramenée à son état normal ; sur 100 parties elle s'est trouvée contenir, savoir :

Chaux.	77.00
Silice.	18.50
Alumine et traces de fer.	4.50
Total.	<u>100.00</u>

Il suit de là : 1° que cette chaux siliceuse est analogue à la chaux de l'Ardèche (*voir ci-devant*), quoique d'un degré d'hydraulicité inférieur; 2° qu'elle a été fournie non par la moyenne, mais par le plus riche des échantillons envoyés; 3° que la chaux de Crèvecœur au contraire a dû provenir des échantillons les plus pauvres parmi ceux que l'on nous a transmis; 4° qu'enfin les chaux de Tournay peuvent être grasses ou hydrauliques selon la nature plus ou moins riche des bancs particulièrement exploités pour tels ou tels fours.

Dans leur état normal ces chaux doivent se comporter, ni plus ni moins, comme les chaux analogues des autres pays; mais provenant au contraire de l'inégale cuisson de fragments de grosseurs très-inégales, elles doivent nécessairement se composer de parties cuites à point et d'incuits. Elles renferment donc tous les éléments d'une extinction imparfaite, et conséquemment tous les éléments de poussée et de foisonnement subséquent observés dans les mortiers à la fabrication desquels elles ont concouru. Ce n'est donc pas à l'hydraulicité qu'il faut attribuer les accidents dont on a eu à se plaindre, mais bien aux imperfections de cuisson que nous venons de signaler.

Que l'on n'admette à la cuisson que les bancs les plus riches en silice; que toutes les pierres soient préalablement réduites à une grosseur à peu près uniforme; que la chaux à *expédier au loin*, soit préalablement éteinte par immersion, purgée d'incuits par le bluteau et enfermée dans des sacs comme cela se pratique depuis longtemps aux fours de Doué (Maine-et-Loire), et l'on n'aura qu'à se louer de l'emploi des chaux du nord.

Grenoble, 22 mars 1843.

N^o 70.*De l'action des vagues à de grandes profondeurs ;*

Par M. SIAU, Ingénieur des ponts et chaussées.

(Extrait des *Annales de chimie et de physique.*)

Les observations dont nous allons rendre compte ont été faites sur des fonds de sables madréporique, blanc et basaltique noir ; elles ont eu lieu en étudiant un projet d'établissement de port à Saint-Gilles, où existe une passe naturelle percée dans le banc de corail qui règne le long de la côte.

Lorsque la mer est assez calme pour qu'on puisse voir le sable graveleux du fond de la passe, on remarque qu'il y forme des ondulations parallèles, dont la section transversale augmente comme l'état de la mer qui les a produites. Nous avons apprécié à 0^m.30 ou 0^m.50 la distance entre deux creux ou deux sommets consécutifs d'ondulations, lorsque nous avons pu les observer ; et la profondeur du creux au-dessous du sommet a été trouvée de 0^m.10 à 0^m.15 environ.

Dans le creux de l'ondulation sont les matières les plus pesantes, comme le gros sable, les graviers et les petits galets ; au sommet de l'ondulation, on voit le sable le plus fin.

Lorsque l'ondulation est formée de matières de même grosseur et de pesanteur spécifique différente, telles que les sables basaltique et calcaire, il arrive que les matières les plus lourdes sont dans le creux, et les plus légères au sommet.

Les ondulations sont un effet de l'action des flots, et s'expliquent facilement. Lorsque l'eau est limpide et qu'on peut voir le fond, les eaux ont peu d'action sur lui, mais lorsqu'elles étaient très-agitées, toutes les matières étaient mises en mouvement par elles. Peu à peu la vague a diminué,

son action s'est amoindrie , et il est arrivé un moment où elle ne pouvait pas faire marcher les matières les plus lourdes. Alors s'est fait un triage, une espèce de départ : les matières légères se sont séparées , ont continué d'avancer par ondulations , comme cela a toujours lieu; le flot agissant au fond des creux pour les porter au sommet , et laissant à nu les corps les plus pesants.

En avançant dans la passe vers l'entrée , on remarque que les ondulations conservent toujours le même parallélisme , et que leur section diminue de plus en plus. Mêmes observations au large : les ondulations y sont parallèles à celles de la passe. On y distingue toujours des zones alternatives de matières plus lourdes et de matières plus légères ; on les distingue aisément , par de belles mers , à 20^m.00 de profondeur.

Si l'on s'avance encore vers le large et qu'on sonde , en ayant soin de bien garnir de suif la base du plomb , on verra , après avoir halé la ligne , les zones dont nous avons parlé empreintes sur ce suif. Tantôt on ramènera une zone uniforme de matières lourdes , et alors le suif aura pris une forme convexe ; tantôt on ramènera une zone de matières légères , et alors le suif aura pris une forme concave. Enfin , à de grandes profondeurs , on pourra ramener à la fois deux petites zones de matières , dont les pesanteurs seront différentes : et alors on remarquera que les plus lourdes couvrent une protubérance , et les plus légères une dépression du suif.

Ce sont ces considérations qui nous ont amené à reconnaître que , dans ces parages , l'agitation de la mer se fait sentir à une profondeur supérieure à celle qui avait été constatée par d'autres observateurs d'une manière moins précise.

Nous regrettons de n'avoir pas eu les moyens et le temps de pousser nos recherches aussi loin que nous l'aurions désiré , la nature des fonds sur lesquels nous avons opéré

se prêtant souvent à ce genre d'observations par les mélanges de matières de pesanteurs spécifiques et de couleurs très-différentes dont ils étaient formés.

La plus grande de nos sondes qui ait été rigoureusement constatée est celle de 188 mètres (578 pieds), faite au nord-ouest de la rade de Saint-Paul, sur un fond de sable et de gravier basaltiques, où l'existence des zones a été reconnue avec la plus grande évidence.

Nous avons fait des sondes à une profondeur bien supérieure; et, quoiqu'il y ait pour nous la plus grande probabilité qu'elles ont donné des résultats analogues, cependant nous ne les citons pas parce qu'elles n'ont pas été renouvelées (1).

(1) *Remarques de M. ÉLIE DE BEAUMONT, à l'occasion des observations de M. SIAU.*

Le résultat auquel est parvenu M. Siau, en essayant de poursuivre jusqu'à leur dernière limite en profondeur les traces de l'agitation des vagues, devient plus intéressant encore lorsqu'on le compare aux faits connus relativement aux plus grandes profondeurs auxquelles on trouve dans la mer des animaux fixés au fond et obligés, par conséquent, d'attendre au passage leur nourriture. Il paraîtrait que les deux limites se rapprochent assez l'une de l'autre, et ne dépassent pas habituellement de beaucoup la profondeur de 200 mètres.

M. de la Bèche a consigné à la fin de ses *Researches in theoretical geology*, un tableau dressé par M. Broderip, où sont consignées, pour un grand nombre de coquillages, les limites supérieures et inférieures entre lesquelles on les trouve respectivement dans le sein de la mer. Il résulterait de ce tableau que les coquilles qui supportent les plus grandes profondeurs sont les térébratules, qu'on a trouvées adhérentes aux rochers jusqu'à 96 fathoms, ou 165 mètres.

D'après les recherches de MM. Quoy et Guaymard, de M. Ehrenberg, de M. Darwin, et de plusieurs autres voyageurs modernes, il paraît que la plupart des polypiers fixes ne vivent qu'à de petites profondeurs. Le corail des côtes de l'Algérie est peut-être l'espèce de polypiers adhérents dont on a constaté l'existence aux profondeurs les plus considérables. M. Milne-Edwards a dragué lui-même du corail, près de Bone, à 100 brasses, ou 162 mètres. On en drague quelquefois jusqu'à 120 brasses ou 195 mètres; mais les corailleurs pensent qu'il n'en existe plus au delà de 150 brasses ou 244 mètres.

On cite un madrépore pêché par Ellis, dans les mers du Groenland, à la profondeur de 420 mètres; mais c'était un madrépore libre, à support corné.

N° 71.

NOTICE

Sur les plans inclinés de Liège ;

Par M. GARELLA, Ingénieur des mines.

Le chemin de fer belge, construit pour relier le Rhin à l'Océan, et joindre Cologne avec les ports d'Anvers et d'Ostende, en passant par Liège et Malines, avait, pour arriver à ce but, à traverser deux grandes vallées, celles de l'Escaut et de la Meuse, et par suite à franchir trois faites, celui qui sépare l'Escaut de l'Océan, et ceux qui séparent la Meuse du Rhin et de l'Escaut.

Le pays compris entre l'Océan et l'Escaut, quoique séparé en deux versants, est un pays plat, nullement accidenté, et ne présentant aucun obstacle à franchir : aussi le chemin de fer partant d'Ostende à 5 mètres au-dessus de la mer, arrive à Gand sur l'Escaut, à la cote 6 mètres, sans s'être élevé au-dessus de 15 mètres sur une longueur de 65 kilomètres. De Gand à Malines, le chemin de fer parcourt également un pays plat ; il s'élève d'une manière insensible, et arrive à Malines à une hauteur de 11 mètres après un parcours de 56 kilomètres, et n'ayant atteint que la cote maximum de 16 mètres.

Il n'en est plus de même entre Malines et Liège : la crête qui sépare le versant de la Meuse de celui de l'Escaut, s'élève à une assez grande hauteur ; mais comme sa position est beaucoup plus rapprochée de la Meuse, il s'ensuit que pendant que le versant ouest s'abaisse avec une pente insensible vers l'Escaut, le versant est offre au contraire des pentes très-fortes qu'il était à peu près impossible de

franchir en se tenant dans les limites de tracé exigées pour les chemins de fer desservis par les locomotives. Le chemin de fer, obligé de se plier jusqu'à un certain point à cette configuration générale du sol, partant de Malines à 11 mètres au-dessus de l'Océan, s'élève insensiblement et d'une manière à peu près continue par des pentes qui ne dépassent jamais 0^m.005, jusqu'à la hauteur de 177 mètres à laquelle il parvient à Ans, après un parcours de 88 kilomètres, ce qui représente une pente générale moyenne de 0^m.00189. Arrivé en ce point, le chemin de fer se trouve à 4 000 mètres seulement de la Meuse, il en est séparé par une différence de niveau de 118 mètres. C'est pour racheter cette grande hauteur, en franchissant une aussi petite distance, que l'on s'est décidé à établir en ce point un plan incliné desservi par des machines fixes. Ce plan incliné, dont le pied est placé aux portes de Liège, termine une des grandes sections du chemin du Rhin à la mer, celle comprise entre l'Escaut et la Meuse.

Le massif compris entre la Meuse et le Rhin offre également sur ses deux versants, des pentes différentes, mais cette différence étant due au plus grand rétrécissement de la vallée de la Meuse, la pente la plus forte est ici du côté de l'ouest. Le plateau d'Eupen, qui forme la séparation des deux versants, situé à une hauteur de 255 mètres au-dessus de l'Océan, 187 mètres au-dessus du chemin de fer au passage de la Meuse, et 205 au-dessus des bords du Rhin à Cologne, est éloigné de cette dernière ville de 70 kilomètres, tandis que sa distance à la Meuse n'est que de 41 kilomètres : il en résulte que la pente moyenne vers le Rhin est de 0^m.003 environ, tandis que celle du versant de la Meuse est de 0^m.0046. Ces pentes sont très-accessibles aux locomotives, mais la nécessité de se rapprocher des grands centres de population tels qu'Aix-la-Chapelle, et du riche bassin houiller d'Escheviller, ont forcé de s'écarter du terrain le plus favorable à l'assiette du chemin

de fer, et de se rejeter par un crochet sur un terrain beaucoup plus accidenté qui a rendu indispensable la construction d'un nouveau plan incliné, placé à l'arrivée et à l'ouest d'Aix-la-Chapelle, et dont le pied est à la station même de cette ville.

L'exécution du plan incliné de Liège n'a été décidée qu'après des études longues et consciencieuses, faites dans le but de s'assurer s'il n'était pas possible d'arriver à Liège avec des pentes praticables aux locomotives. Au moment où on allait commencer les travaux, le système des plans inclinés ayant été critiqué dans un mémoire rédigé par les ingénieurs belges sur l'embranchement du chemin de fer de Namur, le ministre des travaux publics crut devoir en suspendre l'exécution, et chargea en conséquence, en juillet 1838, une commission d'ingénieurs de se rendre sur les lieux, afin de reconnaître s'il serait possible d'atteindre la vallée de la Meuse en suivant une direction assez développée pour qu'au moyen de pentes d'environ $0^m.005$, on pût racheter la différence de hauteur entre le point culminant d'Ans et le fond de la vallée, et parvenir ainsi à supprimer les plans inclinés de Liège. Cette commission fit un rapport duquel il résultait que, dans les diverses directions proposées ou conçues pour éviter les plans inclinés, il serait nécessaire d'entreprendre des travaux extraordinaires, d'un prix exorbitant et d'une exécution presque impossible, et offrant en outre de véritables dangers. Ce fut à la suite de ce rapport que le projet des plans inclinés et le cahier des charges pour une adjudication, furent définitivement approuvés le 29 octobre 1838. Tous les travaux ont été terminés au commencement de 1842 et la circulation définitivement établie sur les plans inclinés à partir du 1^{er} mai de la même année.

La hauteur qui sépare le plateau d'Ans du niveau de la Meuse est franchie par deux plans inclinés, dont la pente varie de $0^m.015$ à $0^m.030$, réunis par une partie de niveau

de 330 mètres de longueur, Pl. 40, *fig. 1* et 2 : les directions de ces deux plans font entre elle un angle de 32 degrés; leur raccordement a lieu, sur le palier horizontal qui les sépare, par une courbe de 350 mètres de rayon : d'ailleurs, le plan supérieur est suivi et le plan inférieur est précédé d'une certaine longueur de chemin horizontal en ligne droite. Le tracé arrive de niveau à l'extrémité du plateau d'Ans à une hauteur de 177 mètres au-dessus du niveau de l'Océan, et jusqu'à la tête des plans inclinés : à partir de ce point sa direction et sa pente sont les suivantes :

Longueur	90 ^m , en lig. droite	Pentes 0.015, haut. tot. franchie	mét. 1.35
	1150 <i>id.</i>	0.030	34.50
	628 <i>id.</i>	0.028	17.58
	112 <i>id.</i>	0.014	1.57

Total du premier plan,

longueur	1980 ^m , en lig. dr. : pente moy ^e 0.0277, haut. tot. franchie	55.00
Palier.	{ Long. 82 en ligne droite 182.17 courbe de 350 ^m de rayon 66 ligne droite } de niveau.	
Longueur	80 en ligne droite	Pente 0.015, hauteur franchie. 1.18
	1273 <i>id.</i>	0.030 38.90
	489 <i>id.</i>	0.028 13.69
	138 <i>id.</i>	0.014 1.93

Total du second plan,

longueur 1980^m, en ligne droite : rachetant une hauteur de. . . 55.00

Chaque plan incliné franchissant ainsi une hauteur de 55 mètres, la hauteur totale rachetée est de 110 mètres, et le tracé partant du plateau d'Ans à la cote 177, arrive au fond de la vallée de la Meuse à la cote 67^m.80 au-dessus de l'Océan.

C'est au pied des plans inclinés qu'a été établie la station principale de Liège : à partir de ce point le tracé se prolonge, d'abord en ligne droite, puis par une courbe de 1 000 mètres de rayon, jusqu'à la Meuse qu'il atteint à 1 516 mètres de distance. Le parcours total du chemin de fer, entre le sommet du premier plan incliné et le pied du second, est donc de 3 960 mètres pour les plans inclinés, 330 mètres pour le palier intermédiaire, et de 1 516 mètres

pour la partie inférieure, en somme 5 806 mètres. Cet excès de longueur sur la distance droite qui sépare l'extrémité du plateau d'Ans de la Meuse, a été obtenu en développant le chemin de fer sur les flancs des coteaux qui dominent la ville de Liège, ce qui n'a pu se faire sans éloigner la station du centre de la ville ; aussi a-t-on dû décider l'établissement d'un embranchement partant de la station (dite des Guillemins) et s'étendant, en suivant les quais, jusqu'au pont des Arches qui réunit, au milieu de Liège, les deux rives de la Meuse.

L'établissement des plans inclinés, d'après le tracé que je viens de décrire, a exigé des travaux considérables : la nécessité de maintenir deux alignements droits, chacun de 2 000 mètres environ de longueur, dans une localité fort accidentée, a occasionné des déblais considérables qui n'ont pas été au-dessous de 560 000 mètres cubes pour l'établissement seul de la voie, et de 300 000 pour le nivellement des stations ; d'un autre côté, les nombreuses voies de communication existantes dans les environs de Liège, qui ont dû être conservées, et qu'on a par conséquent été obligé de traverser en les maintenant soit au-dessus soit au-dessous du chemin de fer, ont exigé 20 viaducs dont 7 au-dessus du chemin, et 13 au-dessous. Aussi les travaux de cette section, dont la longueur n'est que de 5 806 mètres, et qui est sur le point d'être complètement achevée, auront-ils coûté près de 3 millions et demi ; en joignant à ce chiffre le coût des machines et du bâtiment qui les renferme, qui s'élève à 1 100 000 fr., et celui du pont du val Benoît sur la Meuse, de 150 mètres de longueur, qui doit être terminé maintenant, et évalué 1 500 000 fr., on voit que les 5 956 mètres de chemin à double voie auront coûté 6 100 100 fr., ce qui revient à plus de 1 million par kilomètre. Dans cette évaluation ne sont pas comprises les dépenses de construction de la station des Guillemins (Liège) qui sont évaluées à la somme

de 846 000 francs (1). Ces chiffres donneront par leur élévation la mesure des difficultés qu'on a eu à surmonter sur ce point, et qui se sont trouvées réunies dans un espace aussi peu étendu, comme par compensation aux grandes facilités que la configuration du sol a offertes à l'établissement des chemins de fer dans l'ouest de la Belgique.

Les plans inclinés de Liège sont établis sur toute leur longueur à deux voies dont l'une est destinée à la descente, et l'autre à la remonte : il y a en outre, au pied de chaque plan et au sommet du premier, une gare d'évitement pour recevoir les convois qui descendraient avec une trop grande vitesse, et pour éviter que les voitures abandonnées sur le plateau supérieur ne soient lancées à la descente sans conducteur : ces gares communiquent avec la voie principale par une aiguille mise en jeu par un contre-poids que le garde excentrique soulève au moment du passage du convoi. En outre, comme mesure de précaution, et pour s'opposer à un déraillement du convoi, la voie descendante est munie de contre-rails intérieurs en bois.

La circulation des convois sur les plans inclinés s'effectue toujours sur la voie de droite, dans le sens de la direction du mouvement. A la descente, le mouvement s'obtient par l'action seule de la gravité, en poussant les convois à l'aide d'une locomotive sur la pente où ils sont abandonnés à leur propre poids dont on règle l'action à l'aide de freins convenablement disposés. A la remonte, le mouvement est déterminé par des machines à vapeur, fixes, qui font mouvoir un câble auquel on accroche les convois.

Les machines à vapeur destinées à faire remonter les convois, sont placées sur le palier horizontal qui sépare les deux plans inclinés, et sur lequel se trouve la courbe de 350 mètres de rayon qui raccorde les deux grands ali-

(1) Tableau n° III, annexé au compte rendu du ministre des travaux publics de Belgique, du 2 juin 1842.

gnements de 1 980 mètres. Le bâtiment dans lequel elles sont renfermées est placé au sommet de l'angle formé par ces deux alignements ; il est rectangulaire et disposé de manière à ce que son grand axe partage l'angle formé par ces deux alignements en deux parties égales. Les machines sont à basse pression et construites sur le modèle de celles des bateaux, c'est-à-dire que le balancier, placé sur le sol au niveau de la base des cylindres, reçoit son mouvement de bielles fixées à la tête de la tige du piston, et le transmet par une autre bielle à un axe coudé. Elles sont au nombre de quatre dont les cylindres ont 1^m.245 de diamètre, et les pistons 1^m.37 de course : leur force nominale est de 80 chevaux (2).

Les chaudières qui les alimentent sont au nombre de six : elles ont la forme de celles dites à tombeau, sur 2^m.65 de hauteur, 2^m.20 de largeur et 9^m.65 de longueur : elles présentent dans leur intérieur deux conduits longitudinaux de 1^m.06 de largeur sur 0^m.70 de hauteur, dans lesquels passe la flamme avant de se rendre dans la cheminée. Le bâtiment qui renferme ces chaudières est placé vis-à-vis celui des machines, en dedans de la courbe formée par le chemin de fer.

Les machines sont placées symétriquement autour des deux axes du bâtiment qui les renferme, et groupées deux à deux de manière à ne former réellement que deux machines doubles, comme les machines à deux cylindres des bateaux à vapeur, de 160 chevaux, dont chacune fait mouvoir, par le moyen de deux manivelles coudées faisant entre elles un angle de 90 degrés, un grand arbre moteur horizontal, perpendiculaire au grand axe du bâtiment, et par conséquent parallèle à la voie au milieu du palier horizontal. A chaque extrémité de ces deux grands arbres sont

(2) Voir à la note I, page 153, le calcul qui a servi à déterminer la force des machines.

placées les poulies motrices sur lesquelles s'enroulent les câbles de traction. Ces poulies, Pl. 41, *fig. 1* et 2, ont 4^m.80 de diamètre de centre en centre des gorges, et portent chacune cinq gorges et une jante cylindrique destinée à recevoir l'action d'un frein : elles sont, de même que les cylindres à vapeur, réunies en deux couples, mais à l'inverse de ceux-ci, en sorte que les deux poulies d'un même couple sont placées aux deux extrémités de deux arbres différents et reçoivent par conséquent leur mouvement de deux machines différentes, chaque couple contenant les deux poulies placées d'un même côté du grand axe du bâtiment des machines : l'un de ces couples sert à la traction sur le plan incliné inférieur, et l'autre à celle sur le plan incliné supérieur. A cet effet, un câble sans fin de 0^m.05 de diamètre et de 4 800 mètres environ de longueur, se trouve placé sur le milieu de chaque voie montante et descendante des deux plans inclinés, soutenu de dix en dix mètres par de petites poulies de friction de 0^m.35 de diamètre.

Pour le plan incliné inférieur, le câble, arrivé au sommet de la montée, s'infléchit comme la voie, et la suit horizontalement jusqu'à l'origine de la courbe de raccordement ; arrivé en ce point, le câble pénètre sous le sol, et par un conduit souterrain arrive sur une poulie de renvoi de 4^m.80 de diamètre dans la gorge, comme les poulies motrices, placée horizontalement devant le bâtiment des machines vis-à-vis les poulies et à la hauteur de la partie inférieure de leur circonférence, Pl. 41, *fig. 3*. Le câble, en quittant cette poulie de renvoi, pénètre dans le bâtiment des machines, vient s'enrouler par-dessous dans la première gorge intérieure de la seconde poulie motrice qu'il enveloppe sur une demi-circonférence, passe ensuite dans la première gorge de la première poulie d'où il s'échappe, après un parcours d'une demi-circonférence, pour se diriger dans la deuxième gorge de la seconde poulie, et ainsi de suite, après avoir

parcours cinq demi-révolutions sur chaque poulie, s'échappe de la cinquième gorge de la première, par-dessous, et se dirigeant en dehors et en arrière du bâtiment des machines, va s'enrouler sur une poulie de renvoi horizontale, de 3^m.50 de rayon, portée par un chariot de tension, mobile, revient ensuite parallèlement à sa précédente direction, mais en sens inverse, et s'infléchit sur une autre poulie placée à côté de la première mais plus petite et n'ayant que 3^m.50 de diamètre, qui le ramène sur la direction de la voie descendante, la parcourt dans toute sa longueur, comme il a parcouru déjà la voie ascendante, pour aller enfin s'enfoncer au-dessous de la voie à 15 mètres du pied du plan incliné, et s'enrouler sur une dernière poulie de renvoi, horizontale, dont le diamètre de 4^m.80 mesure l'écartement des voies, et qui le ramène ainsi sur l'axe de la voie ascendante.

Le câble du plan supérieur reçoit le mouvement de la même manière par l'autre couple de poulies motrices; toutefois il y a une légère différence qui consiste en ce que la machine, au lieu d'agir en tirant de bas en haut le câble de la voie ascendante, tire de haut en bas celui de la voie descendante qui communique le mouvement aux convois situés sur la voie montante, en s'infléchissant sur la poulie horizontale placée au sommet du plan.

Le chariot de tension, Pl. 41, fig. 17, 18 et 19, est placé en arrière du bâtiment des machines, qui porte une poulie de renvoi située à l'une des extrémités du champ parcouru par le câble sans fin. Ce chariot est destiné à conserver au câble une tension constante : il est porté par quatre roues montées sur deux essieux, dont le premier porte en outre deux petites poulies de support destinées à soutenir le câble à la hauteur de la gorge de la poulie de renvoi. Les roues qui le supportent roulent sur un chemin de fer légèrement incliné et dont la pente tend à l'éloigner constamment des machines : il est en outre tiré par un contre-poids

de 7 000 kilogrammes qui peut se mouvoir verticalement dans un puits de 30 mètres de profondeur, et auquel il est lié par une forte chaîne en fer.

Il est aisé de concevoir, d'après la disposition du mécanisme qui vient d'être décrit, que le mouvement d'une quelconque des deux poulies motrices d'un couple doit se communiquer au câble et, par conséquent, amener l'ascension du convoi auquel ce câble est accroché : il est indispensable, pour éviter un glissement nuisible du câble dans les poulies motrices, que les deux poulies d'un même couple se meuvent exactement avec la même vitesse, c'est pourquoi le mouvement n'est jamais donné que par une seule poulie à la fois, et par conséquent par une seule machine. Chaque poulie est liée à l'arbre moteur, à l'extrémité duquel elle se trouve, par un manchon à coulisse qui permet de rendre le mouvement indépendant de celui de la machine. Le mouvement de ce manchon est obtenu à l'aide d'un collier qui l'enveloppe et qui est lui-même traversé par deux vis dont les extrémités sont fixes ; de manière que leur mouvement de rotation, produit par celui d'une vis sans fin dont la manivelle se trouve à la disposition du mécanicien, amène nécessairement un mouvement de translation dans leur écrou, et par conséquent dans le collier qui les porte.

En général, dans les circonstances ordinaires, et quand les machines sont en bon état, chaque machine est affectée au service particulier d'un plan incliné. Dans ce cas, la poulie droite du premier arbre est embrayée, ainsi que la poulie gauche du second ; la première machine double fait marcher le couple des poulies motrices de droite, et la seconde le couple de gauche. Mais dans le cas où l'une des deux machines serait en réparation, l'autre suffirait pour faire tout le service ; il n'y aurait pour cela qu'à débrayer complètement les deux poulies appartenant à l'arbre de la machine en réparation, à embrayer seulement celle des

deux autres appartenant au couple du plan inférieur : quand le convoi à élever serait arrivé au palier intermédiaire, et pendant qu'il se rendrait au pied du plan supérieur, on débrayerait cette poulie, et on embrayerait l'autre : on pourrait même, à la rigueur, laisser constamment embrayées les deux poulies de la machine en activité, et cela n'aurait d'autre inconvénient que de faire marcher un câble sans charge.

La pose de tout l'appareil moteur présente une circonstance particulière, c'est une légère inclinaison de chaque machine parallèlement à l'arbre moteur, mais en sens inverse pour chaque machine. Les poulies motrices étant perpendiculaires à l'arbre, et chaque gorge étant également dans un plan perpendiculaire à cet arbre, si les deux poulies d'un même couple étaient placées verticalement et bien vis-à-vis l'une de l'autre, lorsque le câble, après avoir fait un demi-tour dans la première gorge de chaque poulie, arrive dans la deuxième gorge de la deuxième poulie, sa direction ferait, avec celle du plan de cette gorge, un angle déterminé par la distance des poulies et par le diamètre des gorges : il en résulterait un frottement assez fort qui, se renouvelant sur chaque gorge et sur les deux poulies, serait une cause d'usure et de détérioration pour le câble et pour les machines. Pour obvier à cet inconvénient, on a incliné les poulies en sens inverse l'une de l'autre de manière à amener, à leur partie inférieure, la première gorge de la première vis-à-vis la deuxième de la seconde, la deuxième de la première vis-à-vis la troisième de la seconde, ainsi de suite, mais en laissant les gorges se correspondre dans leur partie supérieure; l'inclinaison est alors mesurée par le rapport de la demi-distance des gorges ($0^m.05$) au diamètre des poulies ($4^m.80$), ce qui donne 0.0096 , soit 1 pour 100. Cette disposition ne présente au reste aucun inconvénient : les machines des bateaux fonctionnent presque toujours sur des inclinai-

sons plus fortes ; mais elle a offert de grandes difficultés dans la pose.

Pour atteindre autant que possible l'uniformité du mouvement particulièrement nécessaire dans la manœuvre d'un plan incliné, tant pour diminuer la fatigue et l'usure de la corde, que pour éviter aux voyageurs le désagrément d'un mouvement saccadé, on a muni chaque machine d'un régulateur à force centrifuge qui règle l'admission de la vapeur suivant la rapidité du mouvement.

Chaque arbre moteur porte également une vis sans fin qui communique, à l'aide d'une roue dentée, son mouvement à un axe horizontal par lequel il est transmis à l'aiguille d'un cadran horizontal placé au dehors du bâtiment, par l'intermédiaire d'engrenages tellement calculés que l'aiguille fait un tour pendant que le convoi parcourt un plan incliné. De cette manière, sans voir le convoi, il est toujours possible de savoir à quel point du plan incliné il se trouve.

Les roues motrices portent, comme je l'ai dit plus haut, une jante cylindrique pour l'application d'un frein : ce frein se compose d'une forte pièce de bois demi-circulaire de 0^m.16 de largeur sur 0^m.12 d'épaisseur, fixée à un collier en fer : il embrasse à peu près la demi-circonférence inférieure de la poulie. Les deux freins d'un même couple de poulies motrices sont liés à un seul levier placé entre les deux poulies et correspondant à une manivelle placée à l'extérieur du bâtiment, au poste assigné au mécanicien, en sorte que ce dernier peut, du dehors et en même temps, serrer les freins des deux poulies. Le câble qui les embrasse et auquel on accroche les convois montants a 0^m.05 de diamètre, il a été goudronné en fil, et est composé de six pièces présentant ensemble une longueur de 4 800 mètres ; son poids est de 2.90 à 3 kilogrammes par mètre courant. Il s'est allongé d'environ 300 mètres en deux mois d'usage.

La position élevée du palier sur lequel ont été établies les machines à vapeur, a nécessité le creusement d'un puits de 30 mètres environ de profondeur, pour trouver les eaux nécessaires à l'alimentation des condenseurs des machines. Une petite machine de huit chevaux a été établie au fond du bâtiment pour y pomper l'eau, pendant que les grandes machines sont en repos : elle sert également à faire le vide dans le condenseur de ces dernières, avant leur mise en mouvement. Pour éviter de trop augmenter l'eau à élever et de faire faire à cette petite machine un travail inutile, on a creusé à une petite distance du bâtiment des machines de grands bassins pour le refroidissement des eaux des condenseurs.

La circulation des convois sur les plans inclinés exige qu'on puisse donner rapidement des signaux du pied au sommet des plans et réciproquement : l'appareil que l'on emploie pour cela est analogue à celui déjà mis en usage à Liverpool et à Londres. Il se compose d'une cloche en tôle de 0^m.50 de diamètre et de 2^m.60 de hauteur ; cette cloche, placée verticalement, est suspendue par une courroie à un axe horizontal autour duquel s'enroule en sens inverse une autre courroie qui supporte un contre-poids servant à équilibrer la cloche, en sorte qu'un mouvement de rotation imprimé à l'axe, soit dans un sens, soit dans l'autre, élève ou abaisse la cloche sans aucune difficulté. Celle-ci plonge dans un réservoir plein d'eau ; mais un tube en forme de siphon renversé de 0^m.026 de diamètre, dont l'extrémité s'élève au-dessus du niveau de l'eau, permet alternativement, à l'aide d'un petit appareil fort simple, à l'air de la cloche, soit de s'écouler quand on l'abaisse, soit de se renouveler quand on l'élève. Ce tuyau se relève verticalement à côté de la cloche et vient se terminer sur la plate-forme qui supporte l'axe et la manivelle avec lesquels on met la cloche en mouvement. A côté de ce tuyau s'en trouve un autre qui a de même 0^m.026 de diamètre, et se

prolonge souterrainement jusqu'au point où le signal doit être reçu, où il se termine par un sifflet. Les orifices de ces deux tubes sont couverts par un tiroir analogue à celui qui règle la distribution de la vapeur dans les machines à vapeur, et qui peut ou les mettre en communication entre eux, ou faire communiquer le tube du réservoir avec l'air extérieur et le tube d'avertissement avec un sifflet. Le mouvement de ce tiroir est déterminé par un levier tournant à frottement doux autour de l'axe qui sert à mouvoir la cloche. Par cette disposition, le même tuyau qui a servi à donner un signal, peut également servir à recevoir un contre-signal qui donne l'assurance que le premier a été entendu.

Quatre appareils de ce genre sont placés sur les plans inclinés, un au pied du plan inférieur pour avertir le mécanicien qu'un convoi est prêt à monter, deux sur le palier intermédiaire pour avertir au sommet du plan supérieur qu'un convoi va monter, et pour prévenir le garde excentrique du pied du plan inférieur qu'un convoi va descendre; enfin un quatrième au sommet du plan supérieur pour donner le même avertissement au garde du palier et pour avertir le mécanicien qu'un convoi montant est arrivé au sommet. Les deux appareils placés aux deux extrémités des plans peuvent également envoyer directement un signal au mécanicien au moyen d'un sifflet placé au devant du bâtiment des machines. Chacun des deux plans est ainsi parcouru dans toute sa longueur par deux tuyaux dont l'un, mettant en communication l'appareil du sommet avec celui du pied de ce plan, sert à transmettre les signaux dans les deux sens, et dont l'autre n'est destiné qu'à envoyer au mécanicien l'ordre de mettre les machines en mouvement. C'est sous le péristyle qui précède le bâtiment des machines qu'est fixé le poste du mécanicien qui doit les mettre en activité, ou les arrêter, et régler leur marche, d'après la marche du convoi, et les divers signaux

qu'on lui transmet. Il a pour cela à sa portée et placés des deux côtés du péristyle, pour chaque machine double : 1° une manivelle pour manœuvrer le frein ; 2° le cadran du compteur ; 3° le sifflet des signaux ; 4° une poignée pour l'admission de la vapeur ; 5° une poignée pour faire mouvoir le régulateur à force centrifuge ; 6° une poignée pour faire purger les condenseurs par la petite machine ; 7° une poignée pour obtenir le même résultat quand cette machine ne marche pas : de son poste placé ainsi au sommet des deux grands alignements des plans inclinés, le mécanicien tout en donnant ses ordres à l'aide placé dans l'intérieur du bâtiment, peut voir arriver les convois ascendants, les suivre pendant leur course sur le palier, recevoir facilement les signaux qu'on peut lui faire et en faire en même temps au moniteur chargé de les transmettre au pied du plan inférieur et au sommet du plan supérieur.

Les convois qui parcourent les plans inclinés à la descente, sont, ainsi que je l'ai dit plus haut, abandonnés à la seule action de leur poids : il est donc indispensable, pour pouvoir maîtriser convenablement leur vitesse et l'empêcher de devenir trop considérable, comme aussi pour prévenir tout accident qui pourrait résulter à la remonte de la rupture de la corde, de pouvoir disposer de freins puissants et faciles à manœuvrer. On a construit dans ce but un grand waggon à frein monté sur six roues, Pl. 42, fig. 1, 2, 3 et 4, qui accompagne les convois et qui porte en même temps une pince qui sert à saisir le câble pour la remonte.

Le frein adapté à ces grands waggons agit directement sur les rails, au lieu d'agir, comme les freins ordinaires, sur les roues, dont le frottement sur les rails modère la vitesse des waggons. Il se compose d'un sabot de 1^m.20 de longueur sur 0^m.12 de largeur et 0^m.27 de hauteur formé d'une forte pièce de bois de forme trapézoïdale, dont la grande base, qui est la base inférieure, est armée d'une

lame de fer présentant transversalement une section qui a, à sa partie inférieure, la forme inverse du champignon supérieur du rail sur lequel elle doit appuyer. Un axe vertical placé au milieu du waggon, muni à son extrémité supérieure d'une manivelle, et terminé à son autre extrémité par une vis qui s'engage dans un écrou mobile, sert à faire mouvoir dans un plan vertical les sabots, par l'intermédiaire de leviers coudés convenablement disposés, qui les retiennent à cet écrou. En abaissant ainsi peu à peu les sabots, on augmente les frottements du waggon contre les rails; on peut même parvenir, en les abaissant suffisamment, à leur faire porter tout le poids du waggon, et à détruire tout contact entre les roues et les rails: le frottement est alors porté à son maximum. Le waggon ayant 6 roues, et 6 mètres de long, est par lui-même fort lourd: on en augmente le poids en le lestant avec des gueuses en fonte, jusqu'à le faire peser 8 000 kilogrammes. En admettant 0.10 pour le coefficient du frottement, dans les cas les plus défavorables, quand les rails sont complètement mouillés, la résistance opposée au mouvement est de 800 kilogrammes. On avait fait, dans l'origine, des waggons à freins à quatre roues, construits d'après ce système, mais on les a remplacés par ceux à six roues, parce qu'on s'aperçut qu'ils n'étaient pas fort stables quand on les soulevait sur leurs sabots.

Ce waggon peut en outre être muni, à volonté, d'un traîneau mobile qui glisse sur les rails au moyen de deux patins en fer qui en embrassent la partie supérieure, et auquel on l'accroche avec des chaînes. En cas d'accident dans le parcours des plans inclinés, la résistance produite par le frottement de ce traîneau sur les rails viendrait s'ajouter à celle du waggon lui-même reposant sur les freins, et diminuer ainsi plus rapidement la vitesse descendante du convoi, en augmentant les résistances que cette vitesse aurait à surmonter.

Des expériences souvent répétées ont appris qu'avec ce waggon frein seul et sans l'aide des freins ordinaires des voitures, il était possible d'arrêter complètement, pendant la descente, un convoi de quatre à six voitures ou de trois à quatre waggons chargés de marchandises. Dans une de ces expériences dont j'ai été témoin, le train composé de quatre waggons chargés de sable, précédés du waggon frein, fut lancé à la descente en modérant d'abord la vitesse avec les freins des waggons ordinaires : après deux ou trois cents mètres de parcours, on lâcha tous les freins, et ce ne fut que lorsque le convoi eut descendu quelque temps sans aucun obstacle qu'on fit agir les freins du grand waggon et qu'on parvint ainsi à l'arrêter. Le frottement étant d'ailleurs proportionnel à la pression, il serait facile d'augmenter la résistance que peut présenter le waggon frein, en le chargeant davantage : toutefois le but que l'on se propose n'étant pas d'arrêter le convoi, mais seulement d'en modérer la vitesse, ce but sera toujours atteint, bien que le frottement du waggon frein ne soit pas assez fort pour équilibrer la gravité du train sur le plan incliné.

La résistance maximum que le waggon frein peut opposer au mouvement d'un convoi descendant est de 800 kilogrammes dans les cas les plus défavorables, en admettant 0.10 pour le coefficient du frottement. Sa gravité sur le plan étant de $8\,000^k \times 0.03$ ou de 240 kilogrammes, il ne reste plus que 560 kilogrammes de résistance utile. Une diligence ou un waggon, moyennement chargé, pèse 4 500 kilogrammes, sa gravité sur le plan est donc $4\,500 \times 0.03$ ou 135 kilogrammes diminuée du frottement des roues et des essieux, soit $4\,500 \times 0.0027$ ou 12 kilogrammes ; la force qui tend à faire descendre une voiture n'est donc en définitive que de 123 kilogrammes. Dans les cas les plus défavorables, on pourra donc toujours arrêter facilement un convoi de quatre voitures avec le waggon

frein : dans les temps secs, le coefficient du frottement s'élevant à 0.13 et à 0.15, ce nombre pourra être porté à cinq et même six. Les waggon à marchandises chargés pèsent environ 6 000 kilogrammes ; leur gravité sur le plan, déduction faite du frottement des roues, est de 164 kilogrammes, moins du tiers de la résistance du waggon frein avec lequel on pourra toujours par conséquent arrêter un convoi de trois waggon au moins, et quelquefois un convoi de quatre dans les temps secs.

Le waggon frein, en même temps qu'il est destiné à modérer la vitesse des trains descendants, sert aussi à accrocher au câble sans fin, les convois remontants en tête desquels on le place. Il porte, à cet effet, à chacune de ses extrémités, une pince à dé clic qui saisit le câble et peut le lâcher instantanément à l'aide d'une manœuvre simple exécutée par les gardes placés sur le waggon. Cette pince se compose de deux mâchoires, l'une fixe et placée sur le waggon à 0^m.28 au-dessus du câble, l'autre mobile, et inférieure à la précédente, entre lesquelles on serre fortement le câble, en le plaçant d'abord sur cette dernière, puis la relevant convenablement par l'intermédiaire de leviers manœuvrés de dessus le waggon et retenus dans leur position définitive par un dé clic qu'il suffit ensuite de lâcher pour que la pince abandonne le câble. Les deux mâchoires ont une longueur de 0^m.45 : leurs deux faces intérieures ont transversalement la forme du câble qu'elles doivent saisir, c'est-à-dire celle d'une circonférence de 0^m.05 de diamètre ; mais, longitudinalement, elles présentent des sections parallèles qui sont celles de deux arcs de cercle dont la concavité est tournée vers le sol : le câble affecte par conséquent cette même courbure quand il est serré dans la pince. Le frottement contre les mâchoires est la seule force qui détermine l'ascension des convois quand le câble est en mouvement ; dans la crainte que le frottement d'une seule pince ne soit pas assez fort, on a muni chaque

waggon frein de deux pinces semblables ; quelquefois aussi par excès de précaution on saupoudre le câble de sable.

Chaque waggon frein destiné à servir de guide aux convois qui parcourent les plans inclinés, porte une cloche dont le tintement doit annoncer le départ ainsi que l'arrivée.

Voici maintenant comment s'opère la manœuvre des convois sur les plans inclinés : cette manœuvre a été réglée en détail par des ordres de service émanés de l'administration des chemins de fer en exploitation (3).

La composition des convois a été fixée au maximum à 12 voitures pour ceux de voyageurs et à 8 pour ceux de marchandises, tant à la descente qu'à la remonte, y compris les waggons freins. Pour les premiers, le nombre de freins doit être moitié de celui des voitures : il a été en conséquence prescrit de ne laisser partir de Malines aucun convoi pour Liège, sans y intercaler cinq voitures à frein.

A la descente, pour les convois de voyageurs, on ne prescrit l'emploi du waggon frein que de nuit, ou lorsque le nombre de voitures excède huit : on peut se contenter des freins ordinaires pour les cas contraires ; mais comme le nombre de convois montants et de convois descendants est à peu près le même, il s'ensuit que pour descendre les waggons freins montés avec les convois, on les accroche en avant de tous ceux qui descendent. Pour les convois de marchandises, on doit employer un waggon frein pour trois waggons chargés.

A la remonte on ajoute à chaque convoi deux waggons à frein, l'un en tête pour s'accrocher au câble, l'autre à la queue pour arrêter, en cas d'accident ou de rupture de la corde, le convoi ou les waggons qui s'en détacheraient.

Lorsqu'un convoi part de la station d'Ans pour se diriger

(3) Voir à la fin, à la note II, les ordres de service relatifs à la manœuvre des plans inclinés d'Ans à Liège.

sur Liège, la locomotive qui le traîne, l'amène jusqu'à une petite distance du sommet du plan incliné, elle se reporte en arrière et le pousse jusqu'au waggon frein, qui stationne à un point où la pente est déjà assez forte pour qu'il puisse descendre en lâchant les freins : le waggon qui guide alors le convoi porte un brigadier et deux gardes-freins : avant de partir, ils examinent si tout est en bon état, le moniteur (préposé aux signaux) avertit celui du pied du plan incliné qu'un convoi doit descendre, et ce n'est que lorsque celui-ci a répondu, qu'il donne le signal au chef garde qui transmet l'ordre de départ en sonnant de la trompette comme dans les convois ordinaires : on commence alors à desserrer les freins et le convoi descend. Arrivé près du pied du plan, on lâche tout à fait les freins, afin que la vitesse acquise, aidée par une légère pente de la voie établie sur le palier horizontal, puisse amener le train jusqu'à la tête du plan incliné inférieur. On ne descend ce dernier que lorsque le moniteur du palier a annoncé le convoi à celui du pied du plan, et en a reçu une réponse.

A la remonte, lorsqu'un convoi a été préparé à la station des Guillemins, précédé et suivi d'un waggon frein, on le pousse au pied du plan incliné jusqu'au point où la corde est visible au-dessus de sol. Pendant que les gardes-freins examinent si tout est en ordre, le moniteur prévient le mécanicien qui met alors en jeu la petite machine pour purger les condenseurs des grandes, et qui fait rendre le signal par le moniteur du palier, quand celles-ci sont prêtes à marcher. On attache alors le waggon frein au câble, le chef garde donne le signal du départ, transmis instantanément au mécanicien qui met aussitôt les machines en mouvement. Quand le convoi est arrivé au sommet du premier plan, on lâche la corde en ouvrant la pince à dé clic, et on laisse le convoi arriver au pied du second plan à l'aide de la vitesse acquise favorisée par une légère

contre-pente donnée à la voie ascendante sur le palier. Le mécanicien qui était constamment averti de la position du convoi sur le plan par le cadran du compteur qu'il a sous les yeux, a soin de modérer la vitesse des machines un peu avant que le convoi soit au sommet, et les arrête quand il y est arrivé.

Avant de monter le second plan et quand on a annoncé par un tintement de la cloche placée sur le wagon frein que le convoi était prêt à partir, le moniteur avertit celui du sommet qui rend le signal, et alors seulement le mécanicien met les machines en mouvement. Au sommet du plan incliné on lâche de nouveau le câble et on laisse arriver le convoi au point où la locomotive doit le reprendre, et où les wagons freins l'abandonnent. Le mécanicien qui suit attentivement le mouvement du convoi, en examinant l'aiguille du compteur, est en outre prévenu de l'arrivée du convoi au sommet du plan par un signal : il arrête alors les machines.

La durée du parcours des convois sur chaque plan incliné, est en moyenne de 6 minutes, tant à la montée qu'à la descente, ce qui représente une vitesse d'environ 6 mètres par seconde et de 20 kilomètres à l'heure. Ce résultat correspond, pour la remonte, à 24 tours de poulies par minute et par conséquent à 24 coups de piston. À la descente la plus grande vitesse que pourrait prendre un convoi de 60 tonnes, maximum de la charge des convois, serait de 139 kilomètres à l'heure, il n'y a donc qu'à la modérer suffisamment avec les freins pour arriver à un parcours régulier de 360 mètres par minute : c'est à quoi parviennent les gardes-freins avec une régularité que l'habitude et l'expérience leur font vite acquérir (4).

(4) Un convoi composé de dix voitures pesant ensemble 44 000 kilogrammes, et de deux wagons freins de 8 000 kilogrammes chacun, est sollicité à la descente sur le plan incliné par une force représentée par 60 000 kilogrammes ($0.03 - 0.0027$) = 1638 kilogrammes. La plus

En ajoutant au temps du parcours des deux plans, le moment d'arrêt qui a toujours lieu sur le palier intermédiaire et qui varie de 3 à 6 minutes, la durée du parcours des sommets des deux plans à leur pied est de 15 à 18 minutes. Mais en remarquant que par suite de la division de la pente en deux plans, et de la disposition qui affecte une machine au service de chaque plan, on peut faire remonter à un convoi le plan inférieur aussitôt que le convoi précédent a commencé son ascension sur le plan supérieur, et de même pour la descente, ce qui ne met plus alors que 10 minutes d'intervalle entre deux départs successifs; on voit qu'il serait possible de remonter six convois dans une heure et facilement 70 dans un jour, ce qui représente un passage d'au moins 560 voitures ou waggons chargés. La circulation sur les chemins belges n'en est pas encore arrivée à ce point, aussi ne fait-on jamais fonctionner les deux machines à la fois, et quoiqu'elles aient chacune un service à faire, comme elles ne travaillent qu'alternativement, on n'allume jamais que trois des chaudières destinées à leur alimentation.

Leur consommation est de 3^m.50 à 4^m.00 de houille par jour, soit environ à 1^k.5 à 1^k.7 par heure et par force de cheval : mais les machines ne travaillant pas régulièrement et d'une manière suivie, on ne peut rien conclure de là. Pendant le travail, la pression de la vapeur s'élève à 0^m 103 au-dessus de la pression atmosphérique, et dans les conden-

grande vitesse que pourra acquérir ce convoi sera celle qui donnera lieu à une résistance de l'air égale à la force accélératrice, et sera déterminée par l'équation $1638 = 0.0050642V^3$, dans laquelle Σ représentant la surface effective du train exposée à la résistance de l'air, est de 180 pieds quarrés anglais, soit de 16^m.9.722 (*Traité des locomotives de Pambour*, 2^e édition, page 152). Cette équation donne pour V une valeur de 139 kilomètres à l'heure. Pour réduire cette vitesse à 20 kilomètres on trouve que la force accélératrice doit être seulement de 34 kilomètres : c'est à quoi l'on peut parvenir en serrant complètement les freins des deux waggons; mais dans les cas ordinaires, on agit simultanément sur tous les freins du convoi.

seurs elle descend jusque au-dessous de 0^m.05. Le personnel employé à la manœuvre de ces machines est de 4 hommes, soit 1 mécanicien, 2 aides nettoyeurs placés à l'intérieur du bâtiment des machines, et 1 chauffeur pour les chaudières. Le personnel, ainsi que la consommation, se trouve ainsi réduit considérablement par suite de la disposition nouvelle particulière aux plans inclinés de Liège, qui plaçant la machine du plan supérieur au pied du plan, a permis de réunir toutes les machines dans le même bâtiment, ce qui donne l'avantage de n'allumer dans les cas ordinaires que la moitié des chaudières destinées à alimenter les deux machines et de permettre à celles-ci, ainsi que je l'ai expliqué plus haut, de se suppléer l'une l'autre en cas de réparations.

Les plans inclinés de Liège étaient livrés à la circulation depuis deux mois quand je les ai visités, le service s'en faisait très-bien, avec une grande régularité, et sans qu'aucun accident fût encore arrivé. On conçoit qu'un accident est à peu près impossible, avec les précautions qui ont été prises : en effet, les accidents qui pourraient arriver seraient ou une descente trop rapide, ou la rupture du câble à la remonte : or, dans le premier cas, si contre toute probabilité les freins des voitures ne suffisaient pas, pour les convois non munis de traîneau, on les dirigerait dans les gares d'évitement placées au pied de chaque plan, et on les empêcherait ainsi d'être lancés avec leur vitesse déjà acquise sur le plan inférieur. Dans le second cas, ou même si quelque waggon se détachait du convoi montant, le waggon frein qui se trouve toujours à l'arrière, donnerait le moyen de l'arrêter et de redescendre au pied du plan avec une vitesse suffisamment modérée : il n'y aurait donc d'autre inconvénient qu'un retard dans la marche du convoi.

Les machines à vapeur ont d'ailleurs été faites avec de grands soins, et installées avec un luxe grandiose; elles

marchent avec une grande régularité et produisent, et même au delà, l'effet utile qui avait été demandé, celui d'élever un convoi de 60 tonnes poids brut, avec une vitesse de 20 kilomètres à l'heure : l'établissement de Seraing, qui les a construites, s'est tenu dans cette circonstance à la hauteur de la réputation européenne qu'il s'est depuis longtemps acquise.

L'exploitation des plans inclinés de Liège a pleinement justifié les espérances des ingénieurs habiles qui les ont conçus et exécutés, et quand on les a examinés en détail et qu'on a observé attentivement leur mode d'exploitation, on demeure convaincu que l'on pourra toujours par des moyens analogues, franchir de grandes hauteurs, avec des pentes de 3 pour 100 au moins, sans diminution sensible dans la vitesse du parcours, et surtout sans aucun danger.

Montpellier, le 5 décembre 1842.

NOTE I.

Calcul de la force des machines.

Extrait du rapport de M. l'ingénieur MAUS, à l'appui du projet d'établissement des plans inclinés de Liège.

La force de la machine doit être réglée sur le plus grand travail dynamique qu'elle aura à faire.

Les éléments de ce travail sont :

- 1° L'effort que doit exercer le câble pour mouvoir le convoi ;
- 2° Le frottement des axes des poulies motrices, de renvoi, etc. ;
- 3° La vitesse d'ascension.

Les rampes à gravir présentent à leur partie inférieure une inclinaison qui croît graduellement à partir de l'horizontale ; lorsque le câble commencera à agir, il tirera donc le convoi, d'abord sur une partie de niveau, et n'atteindra l'inclinaison maximum qu'après avoir passé par toutes les inclinaisons intermédiaires ; la machine à vapeur n'aura en conséquence à exercer d'abord qu'un effort relativement inférieur, et aura ainsi un excédant de force, largement suffisant pour vaincre l'inertie du convoi, de la corde et des poulies de support.

Nous n'avons donc à évaluer, comme dans le travail des locomotives, que la résistance pendant le mouvement.

Dans l'évaluation de la force des machines, on ne calcule ordinairement que l'effet utile à obtenir réellement, et les fabricants ont soin de leur donner une force supérieure pour vaincre les frottements et résistances des attirails à mouvoir. C'est ainsi que, pour une machine à pomper, on n'évalue l'effet utile obtenu que par le produit du poids d'eau élevé, par sa hauteur d'ascension, sans avoir égard au travail que la machine a dû développer pour vaincre les frottements des organes de la machine, des pistons, des pompes, etc. L'expérience acquise par les fréquentes applications des machines à une même destination, a fait connaître quel était pour chaque cas particulier, l'excédant de force nécessaire pour surmonter ces résistances passives, et obtenir l'effet désiré. Mais l'usage des plans inclinés n'est pas assez répandu, pour que les mécaniciens aient acquis les mêmes données pour les machines stationnaires qu'ils exigent ; le rapport des frottements varie d'ailleurs, dans différentes proportions, selon l'étendue, l'inclinaison des plans et le système d'appareils employés.

Ces raisons nous ont engagé à faire l'évaluation détaillée de toutes les résistances passives du système proposé, en prenant pour base de ces calculs les données expérimentales de l'espèce fournie par les observations de MM. Wood, Stephenson, de Pambour, etc., etc., et nous avons obtenu les résultats suivants :

Calcul de l'effet dynamique à produire.

Effet utile :

A. *Gravité*. — Poids du convoi de 12 voitures évalué à 60 tonnes, multiplié par le sinus de l'angle d'inclinaison égal à 0.03.

B. *Frottement*. — Le coefficient du frottement des voitures du convoi étant au plus de 0.005, la résistance sera.

Total.

Résistances passives.

1° Frottement des axes :

C. Poulies de support du câble.

Le câble, de 0^m.15 de circonférence, et pesant 2 kilogrammes par mètre courant, aura, sur un développement de 4 300 mètres, un poids total de. 10 750 k.

Une poulie de support pèsera au plus 16 kil., et, pour un développement de 4 300 mètres, il en faudra 430 qui pèseront. . . 6 450

Poids ensemble. 17 200 k.

Le rapport entre les diamètres de la gorge et de l'axe est de 0.057; admettant que les surfaces frottantes soient mal graissées et seulement onctueuses, nous aurons pour coefficient de frottement 0.14 (a).

Le coefficient général sera donc 0.008 qui, multipliant 17 200 kil., donne une résistance mesurée à la circonférence de la poulie de. 138

D. Poulie de renvoi en avant des grandes poulies motrices :

Poids de la poulie au maximum. 5 000 k.

La tension de la corde étant de 2 238 kil. et faisant un angle de 105° 40' produira sur l'axe une pression de 2 238 k. \times 1.21. . . . 2 708

Pression totale sur l'axe. 7 708 k.

A reporter. 138 2 100

(a) M. Wood admet une évaluation plus forte, mais il est à observer qu'il a fait ses expériences sur des plans inclinés en courbe, destinés au transport de la houille et sur lesquels les poulies sont ordinairement si mal établies et si mal entretenues, que souvent elles ne tournent pas, tandis que les poulies des plans rectilignes de Liège étant construites avec coussinets en cuivre et garnies de boîtes à graisse, comme les wagons, n'éprouvent pas plus de frottement que ces derniers; et si nous avons admis le coefficient de 0.14, c'est pour être au-dessus de la réalité.

	Résistances passives.	Effet utile.
<i>Report.</i>	kil. 138	2 100
Le rapport des diamètres de la gorge et de l'axe égale $\frac{0.20}{4.80} = 0.042$.		
Le coefficient du frottement des surfaces frottantes étant de 0.08 (b), le coefficient général devient 0.0035; multipliant 7708 par 0.0035, il vient pour la résis- tance mesurée à la circonférence.	27	
E, poulie sur le chariot de tension :		
Poids de la poulie.		2 000 k.
La tension de la corde étant de 750 kilog., la pression sur l'axe sera.		1 500 k.
Pression totale sur l'axe.		3 500 k.
Le rapport entre les diamètres de l'axe et de la cir- conférence égale $\frac{0.143}{3.500} = 0.041$; le coefficient de frot- tement étant, comme dans le cas précédent, de 0.08, le coefficient général sera 0.0033 qui, multi- pliant 3500, donnera.	12	
F, poulie de renvoi pour le retour de la corde sur le plan :		
Poids de la poulie.		2 000 k.
Pression sur l'axe $750 \text{ k.} \times 1.21$		908 k.
Pression totale sur l'axe.		2 908 k.
Le coefficient étant comme ci-dessus de 0.0033, il viendra.	10	
G, poulie au sommet du plan incliné supérieur :		
Poids de la poulie.		5 000 k.
Pression sur l'axe.		4 798 k.
Pression totale sur l'axe.		9 798 k.
Le coefficient général étant comme dans la poulie D de 0.0035, la résistance sera.	34	
H, poulies motrices. La tension de la corde variera de 2 238 à 750 kilog., la moyenne sera de 1 494 kilog. qui multipliée par 8, nombre des cordes qui tirent chaque poulie l'une vers l'autre, donne une pression de 11 952 kil. sur l'axe; suivant une ligne horizontale.		
<i>A reporter.</i>	221	2 100

(b) Ce coefficient résulte des expériences faites sur le frottement des axes des wagons, par M.M. Stephenson, Wood, de Lambour, etc.

		Résistances passives.	Effet utile.
	kil.	kil.	kil.
<i>Report.</i>	229	395	2 100
M, poulie de renvoi pour le retour du câble sur le plan incliné :			
Comme pour la précédente.	21		
N, poulie au sommet du plan incliné supérieur :			
La résistance constante sera $\frac{2.50}{0.33} \times \frac{0.35}{4.80} = 0.55$ k.	46		
La résistance variable $\frac{2.50}{0.33} \times \frac{0.01255}{4.80} \times 2238 = 44.75$			
Résistance totale due à la roideur du câble.	296	296	
Effort à appliquer au câble pour faire équilibre { à la résistance du plus grand convoi.			2 100
{ aux résistances passives.		691	

Les effets de traction trouvés ci-dessus doivent être multipliés par la vitesse d'ascension (5^m.56 par seconde avec le maximum de charge), afin d'obtenir les effets dynamiques correspondants exprimés en unités dynamiques d'un kilogramme élevé à un mètre par seconde.

L'effet dynamique { utile équivaudra donc à. 11 676 k.
pour vaincre les résistances passives. . . 3 842 k.

Total de l'effet dynamique à produire par seconde. . . . 15 518 k.

Calcul de la force des machines.

Une machine à basse pression composée de deux cylindres de 1^m.245 de diamètre avec une course de 1^m.37 faisant 22 (c) révolutions par minute suffira pour produire l'effet dynamique qui vient d'être trouvé ainsi que le montrent les calculs suivants :

Les deux cylindres de 1^m.245 de diamètre auront ensemble une surface de 24 348 centimètres carrés.

La tension de la vapeur excède de 0k.33 par centimètre carré, la tension de l'atmosphère, sa pression dynamique après déduction pour les frottements dans les tuyaux et l'élévation du palier intermédiaire, où sont les machines, au-dessus du niveau de la mer, sera kil.
par centimètre carré de. 1.21

A déduire pour la tension de la vapeur dans le condenseur et celle nécessaire pour faire marcher la machine à vide. 0.35

Reste pour la pression effective. . . . 0.86

A reporter. 0.86

(c) L'arbre moteur faisant 22 révolutions par minute ou par seconde 22/60 de révolution, et la corde devant parcourir dans le même temps 5^m.56 ; 22/60 de circonférence doivent égaier 5^m.56, condition qui détermine pour la poulie un diamètre de 4^m.80.

	kil.
<i>Report.</i>	0.86
A déduire de cette pression pour les frottements produits par la charge.	0.12
Reste pour la pression utile par centimètre carré.	0.74
La surface des pistons contient 24 348 c. q. qui, multipliés par 0.74, produisent une charge de 18 018 kilog.	
La machine faisant 22 révolutions par minute et la course étant de 1 ^m .37, la vitesse du piston sera par seconde de 1 ^m .005.	
La charge des pistons de 18 018 kilogrammes étant multipliée par cette vitesse de 1.005, produit, par seconde, un effet dynamique utile représenté par.	<u>18 108 k.</u>

La machine sera donc capable de produire un effet de 18 108 kil. au lieu de 15 518 kil. qu'exige le service; la différence 2 590 paraîtra sans doute un excédant suffisant, si l'on fait attention qu'elle forme les deux tiers de l'effet dynamique de 3 882 kil., qui représente la somme des résistances et qui seule peut être soumise à quelques variations. Car, quant à l'évaluation de l'effet utile représenté par 11 676 kil., elle n'est sujette à aucune cause d'erreur, puisqu'elle dépend du poids du convoi et de l'inclinaison du plan également bien connus.

Une machine composée de deux cylindres ayant les dimensions indiquées ci-dessus, sera fournie comme une machine de 160 ou 180 chevaux, selon que la fabricant fera la part des frottements plus ou moins large.

NOTE II.

Ordres de service relatifs à la manœuvre des plans inclinés d'Ans à Liège.

La manœuvre complète des plans inclinés s'exécute dans l'ordre ci-dessous indiqué.

1° A la descente :

A la descente, les convois de voyageurs doivent avoir un nombre de freins égal à la moitié du nombre des voitures.

Si le nombre des voitures excède huit, on attache le waggon traîneau (à 6 roues, poids 8 000 kilog.). A la descente de nuit des convois de voyageurs, ce waggon traîneau doit toujours être placé en tête du convoi.

Pour la descente des convois de marchandises, outre les freins ordinaires des voitures, l'on ajoute toujours un waggon traîneau lorsqu'il n'y a pas plus de trois waggons à descendre; lorsqu'il y en a de quatre à six, l'on ajoute deux waggons traîneaux.

Parvenu à la halte qui précède le sommet, le convoi s'arrête, la locomotive est détachée et va prendre place à l'arrière du convoi.

Les gardes-freins spécialement attachés au service des plans inclinés prennent possession du convoi qui est poussé par la locomotive jusqu'au poteau placé au sommet.

Alors commencent, sans que rien puisse y être changé, les manœuvres suivantes :

1° Le moniteur du sommet annonce le convoi à celui du palier; celui-ci lui rend le signal; le drapeau blanc est arboré par le premier;

2° L'accès du convoi est sévèrement interdit dès ce moment;

3° Le tintement annonce le départ;

4° Les gardes-freins s'assurent que toutes les voitures sont bien attachées au moyen des deux crochets, et que tous les freins sont en bon état; le brigadier l'annonce au chef garde;

5° Le chef garde donne le signal du départ; les gardes le répètent en sonnant de la trompette;

6° Le brigadier, placé sur la première voiture ou sur le waggon traîneau du côté de la deuxième voie, arbore le drapeau blanc;

7° Les gardes-freins, placés du même côté, desserrent les freins et le convoi descend;

8° Arrivé au palier, un poteau indique le point d'arrêt du convoi;

9° Pendant les moments d'arrêt, les gardes-freins s'assurent de nouveau du bon état du waggon traîneau, des chaînes et des freins;

10° Alors le moniteur du palier prévient celui du bord du plan incliné, et attend sa réponse pour faire remettre le convoi en marche.

11° Dans aucun cas, la descente ne peut s'opérer en moins de 18 minutes;

12° Le brigadier et les gardes-freins sont punis lorsque la descente s'effectue en moins de temps.

Pendant la descente, le drapeau blanc arboré par le brigadier ordonne le ralentissement, le drapeau rouge, l'arrêt; de nuit, les signaux sont donnés par des lanternes blanche et rouge, qui ont respectivement la même signification que les drapeaux de mêmes couleurs.

2° A la montée :

Les convois à la montée ne peuvent jamais être composés de plus de 12 voitures pour les convois de voyageurs et de plus de 8 pour ceux de marchandises.

Aucun convoi ne monte le plan incliné sans un waggon muni d'un traîneau mobile placé à l'arrière du convoi.

1° Un tintement annonce le départ, et le convoi est poussé au pied du plan incliné;

2° Le moniteur donne le signal d'avertissement et attend la réponse du mécanicien;

3° Les gardes-freins apportent le traîneau mobile et s'assurent que les voitures sont bien attachées et que les freins sont en bon ordre;

4° Les gardes-freins attachent le câble;

5° Le chef garde donne le signal du départ, les gardes le répètent;

6° Le moniteur donne le signal du départ au mécanicien;

7° Le mécanicien à la réception du signal met les machines en mouvement;

8° Les gardes-freins, à l'arrivée au poteau placé au sommet du premier plan, décrochent le câble et laissent avancer le convoi jusqu'au pied du plan supérieur;

9° Avant la montée du second plan, on observe toutes les mesures contenues aux n°s 2, 3, 4 et 5, pour le plan inférieur;

Le mécanicien met les machines en mouvement;

10° A l'arrivée au sommet du second plan incliné, les gardes-freins décrochent le câble à l'endroit indiqué par un poteau et laissent parvenir le convoi au point où il doit être repris par la locomotive;

11° Le traîneau mobile est détaché et la locomotive se met en tête du train;

12° Les gardes-freins spéciaux n'abandonnent le convoi qu'après y avoir attaché la locomotive;

13° Le chef garde s'assure que le traîneau mobile est décroché et qu'il n'y a aucun dérangement au convoi, et donne le signal du départ.

Légende des planches.

Planche 40.

Fig. 1. Tracé du chemin de fer aux abords de Liège, entre la station d'Ans au sommet des plans inclinés, et le pont du Val-Benoît sur la Meuse.

Fig. 2. Plan général. Les plans inclinés ayant chacun 1 980 mètres de longueur sont réunis par un palier horizontal *ab*, sur lequel le chemin de fer est, partie en ligne droite, partie en ligne courbe, de 350 mètres de rayon.

c, bâtiment des machines situé au sommet de l'angle formé par les directions des deux plans inclinés.

d, bâtiment des chaudières.

s, loges des signaux.

Fig. 3, 4 et 5. Élévations antérieures et latérales des bâtiments, des chaudières et des machines.

Fig. 6. Plan du palier intermédiaire horizontal qui réunit les deux plans inclinés.

a, machines à basse pression desservant le plan incliné inférieur.

b, machines à basse pression desservant le plan incliné supérieur.

c, c, poulies motrices tirant le câble du plan incliné inférieur.

c', c', poulies motrices tirant le câble du plan incliné supérieur.

d, d', chariots de tension.

e, e', puits pour la marche du contre-poids pour la tension du câble.

f, f', poulies de renvoi pour l'entrée du câble dans le bâtiment des machines.

g, g', poulies de renvoi pour le retour du câble vers les plans inclinés.

i, tuyau conduisant la vapeur des chaudières aux machines.

k, canal conduisant l'eau de décharge des chaudières au canal *m*.

l, l', l'', tuyaux conduisant l'eau de condensation au bassin de refroidissement *q*.

m, aqueduc conduisant l'eau des machines et chaudières dans le bassin de refroidissement.

n, tuyau conduisant l'eau refroidie du bassin *q* aux machines.

o, machine pneumatique servant à pomper l'eau du puits d'alimentation et à préparer le vide dans les machines *a* et *b*.

p, puits d'alimentation.

q, bassins d'alimentation et de refroidissement.

r, r', manchons d'embrayage.

s, s', s'', loges des signaux.

t, cheminée des fourneaux des chaudières.

Fig. 7. Profil général des plans inclinés.

Planche 41.

Fig. 1 et 2. Élévation latérale et coupe d'une poulie motrice.

Cette poulie porte cinq gorges dans lesquelles s'enroule le câble, et une jante cylindrique pour y appliquer le frein ; elle a 4^m.80 de diamètre dans les gorges. Elle est en fonte : le moyeu et les huit rayons sont coulés d'une seule pièce : la jante est en huit morceaux assemblés entre eux par deux boulons et une clavette, et avec les rayons par huit boulons. Ce dernier assemblage est en outre consolidé par des coins.

Fig. 3. Élévation de face de deux poulies d'un même couple, indiquant la correspondance des gorges des poulies.

Le câble arrive par la partie inférieure dans la gorge 1 de la seconde poulie, fait une demi-circonférence dans cette gorge, la quitte par-dessus en 2, vient dans la gorge 2' de la première, fait une demi-circonférence, sort en dessous en 3, prend en 3' la deuxième gorge de la seconde poulie, la quitte en dessus en 4 pour venir en 4' dans la deuxième gorge de la première, et ainsi de suite après avoir décrit cinq demi-circonférences dans chaque gorge de chaque poulie, abandonne la première par-dessus en 11, et va ensuite sortir du bâtiment des machines en passant sur la seconde poulie.

Fig. 4 et 5. Détails des joints des diverses portions de la jante avec les rayons.

a, clavette ; b, coins ; c, frein.

Fig. 6. Disposition générale des machines indiquant l'inclinaison transversale et en sens inverse que l'on a donnée aux deux groupes de machines afin d'amener dans un même plan vertical les gorges correspondantes des poulies motrices appartenant à un même couple.

Fig. 7 et 8. Plan et coupe de deux poulies motrices, indiquant la disposition du câble sur ces poulies.

Fig. 9. Plan du péristyle du bâtiment des machines.

a, manivelle pour serrer le frein des poulies motrices.

b, compteur indiquant la position des convois sur les plans inclinés, à la remonte.

c, manivelle pour ouvrir les robinets d'injection des machines.

d, signal avertissant le mécanicien qu'il doit mettre les machines en mouvement ou les arrêter.

e, manette pour ouvrir l'admission de la vapeur dans les machines.

f, manette pour mettre en mouvement le régulateur à force centrifuge.

h, manette ouvrant les tuyaux pour purger d'air les grandes machines et la petite machine pneumatique.

g, manette pour obtenir le même résultat quand la petite machine ne fonctionne pas.

Fig. 10 et 11. Poulie de renvoi de 4^m.80 dans la gorge. Élévation et coupe.

Cette poulie, entièrement en fonte, est composée de deux parties égales réunies suivant un diamètre passant par le milieu de deux des huit rayons, assemblées sur le moyen à mi-fer, et fixées l'une à l'autre par douze boulons.

Il y a d'autres poulies de renvoi de 3^m.50 de diamètre qui ne diffèrent de la précédente qu'en ce que leurs dimensions respectives sont un peu plus faibles.

Fig. 12. Mode d'installation des poulies de renvoi.

Ces poulies sont inclinées de manière à être dans le plan du câble qui les embrasse. Elles sont placées dans une fosse en maçonnerie creusée au-dessous de la voie de fer : leur axe, également incliné dans une direction perpendiculaire au plan de la poulie, repose par sa partie inférieure dans une crapaudine *a*, fixée sur un bloc de pierre, et s'appuie, par sa partie supérieure, contre une traverse en fonte *b*, scellée dans les parois de la fosse.

Fig. 13, 14, 15 et 16. Poulies de support du câble, et détails de la boîte à graisse.

Ces poulies sont placées dans une cage en fonte qui repose sur les traverses sur lesquelles sont fixés les coussinets de la voie de fer. Cette cage renferme également les boîtes à graisse dans lesquelles tournent les extrémités des essieux, afin de diminuer autant que possible les frottements résultant du mouvement de ces poulies au nombre de 200 sur chaque voie de chaque plan.

Fig. 17, 18 et 19. Plan, coupe et élévation du chariot de tension.

Ce chariot, destiné à régler la tension du câble de manière à obtenir un frottement suffisant sur les poulies motrices, se compose d'une poulie de renvoi *a* (de 3^m.50) placée horizontalement, dont l'axe est soutenu par de fortes armatures *bb'*, fixées à un châssis en tôle reposant sur deux essieux *c, c'*, qui portent chacun une paire de roues *dd'* roulant sur une voie de fer *f, f'*. Cette voie de fer, ainsi qu'il a été dit dans le cours de la notice, est inclinée légèrement en sens inverse de la traction du câble qui embrasse la poulie de renvoi, c'est-à-dire vers G. L'essieu antérieur *c* se prolonge en dehors des roues et porte à ses extrémités deux petites poulies de support *h, h'* espacées de 3^m.50 d'axe en axe et qui soutiennent le câble à la hauteur de la gorge de la poulie de support *a*. Le châssis en tôle porte à sa partie postérieure un anneau *k* auquel est accrochée une chaîne qui, s'infléchissant plus loin sur une petite poulie, s'enfonce verticalement dans un puits placé en arrière du chariot de tension, et supporte à son extrémité un contre-poids destiné à régler la tension du câble.

Planche 42.

Fig. 1. Waggon frein.

Élévation longitudinale.

Fig. 2. Élévation par le bout.

Fig. 3. Coupe transversale.

Fig. 4. Plan à diverses hauteurs.

a, a, châssis du waggon.

b, b, buttoirs de choc.

c, c, lest.

d, d, sabots du frein.

e, e, manivelles pour mouvoir les freins.

f, f, leviers pour communiquer le mouvement aux sabots du frein.

g, cloche pour donner le signal du départ.

h, h, pinces à déclié pour serrer le câble.

k, k', leviers pour faire mouvoir les pinces à déclié.

Fig. 5. Pince à déclié.

Élévation longitudinale.

Fig. 6. Élévation transversale.

Fig. 7. Plan.

a, mâchoire fixe composée d'une partie en fonte *a₁* et d'une partie en bronze *a₂*.

b, mâchoire mobile fixée à l'extrémité d'un levier *c*.

d, levier pour mouvoir le levier *c* auquel est fixée la machine mobile *b*.

e, manivelle et pignon engrenant dans les dents de l'arc en fonte *f* pour serrer la pince en relevant le levier *d*.

e', poignée pour mouvoir le pignon *e*.

g, déclié pour arrêter le levier *d*.

La *fig. 5*, avec lignes pleines, représente la pince fermée.

La ligne ponctuée représente la position de la pince ouverte.

La ligne entremêlée *c' b'* représente le mouvement par lequel on lâche le câble quand on est arrivé au sommet du plan incliné.

Fig. 8, 9 et 10. Appareil pour les signaux.

a, réservoir en tôle à demi plein d'eau.

b, cloche en tôle plongeant dans le réservoir *a*.

c, roue sur laquelle s'enroule une courroie à laquelle est suspendue la cloche *b*.

d, roue sur laquelle s'enroule, en sens inverse de la précédente, une courroie supportant un contre-poids destiné à équilibrer le poids de la cloche *b*.

e, manivelle destinée à faire mouvoir la cloche à l'aide du pignon *e'* et de la roue dentée *e''*.

f, tuyau d'avertissement, communiquant à l'appareil situé à l'autre extrémité du plan incliné.

g, tuyau en forme de siphon renversé, établissant communication avec l'air enfermé dans la cloche *b*.

h, tuyau terminé par un sifflet.

i, boîte à laquelle aboutissent les trois tuyaux *f, g* et *h*, et destinée à faire communiquer les tuyaux *g* et *h* quand on relève la cloche, et les tuyaux *g* et *f*, quand on l'abaisse.

k, tige qui fait mouvoir le tiroir *m* renfermé dans la boîte *i*.

n, manivelle fixée à frottement doux sur l'axe des roues *c* et *d*, qui met en mouvement la tige *k*. La *fig. 10* représente le tiroir dans la position où il est quand on relève la cloche; quand au contraire on l'abaisse, le tiroir couvre les orifices des tuyaux *g* et *f*.

o, ouverture pour l'introduction de l'air dans la boîte, et dans le tuyau *g* quand on relève la cloche *b*.

N° 72.

Canaux souterrains de Worsley près Manchester ;

Détails extraits du mémoire de MM. HENRY FOURNEL, Ingénieur des mines,
et ISIDORE D'YÈVRE, Ingénieur civil.

MM. H. Fournel et I. d'Yèvre ont publié en juillet 1842 un mémoire sur les canaux souterrains et sur les houillères de Worsley. Ce travail, dans lequel ces habiles observateurs ont consigné les résultats de leurs recherches pendant un séjour prolongé sur les lieux, renferme sur l'art de l'ingénieur des détails qui nous ont paru offrir un véritable intérêt aux lecteurs des Annales des ponts et chaussées. Nous avons donc cru faire une chose utile en extrayant du mémoire de MM. Fournel et d'Yèvre, les parties qui se rapportent plus particulièrement aux canaux souterrains.

Après avoir décrit les houillères de Worsley et fait connaître l'importance des couches et la qualité des charbons qu'elles produisent, MM. Fournel et d'Yèvre font l'énumération des divers puits percés dans le terrain houiller pour en opérer ou en faciliter l'exploitation. Ces puits ont généralement 2^m.44 à 3,66 de diamètre et sont desservis soit par des machines à vapeur soit par des machines à eau. Lorsqu'ils aboutissent à des canaux creusés dans la mine et qui ne débouchent pas au jour, ils offrent, mais d'un côté seulement, la forme d'un vase renversé, afin de livrer passage aux bateaux que l'on descend tout construits.

De nombreuses galeries ont été poussées à travers bancs et dans l'allongement des couches. Ces galeries sont constamment basses et étroites, n'ont pas été boisées et

aboutissent ordinairement à angle droit sur des canaux souterrains destinés à faciliter le transport des charbons. C'est la description de ces canaux qui est l'objet de cet extrait.

L. C. M.

CHAPITRE I^{er}. — TRAVAUX EXÉCUTÉS.

Vers 1766, à l'époque où commença en France la grande discussion relative au percement souterrain du canal de Saint-Quentin, discussion qui ne fut close qu'au bout de trente-six ans (en juillet 1802), le duc de Bridgewater venait de terminer jusqu'à Manchester le canal à grande section qu'il avait conçu en 1758, et qu'il prolongea, plus tard, jusqu'à l'embouchure de la Mersey. Mais après avoir ouvert cette voie d'écoulement pour les produits de ses houillères de Worsley, il résolut de faire pénétrer le canal dans la mine même, et de pousser ses bateaux jusqu'aux tailles du mineur, supprimant ainsi d'un seul coup tous les frais du transport depuis les fosses jusqu'au canal, en même temps qu'il étancherait les eaux souterraines, et qu'il éviterait, pour le charbon, les chargements et déchargements qui occasionnent tant de déchets. C'est donc vers 1766 qu'il faut placer l'origine de cette navigation souterraine qui a pris successivement un développement si énorme.

Lorsqu'en 1822, M. Huerne de Pommeuse publia les nombreux documents qu'il avait rassemblés sur les canaux de France et d'Angleterre, les canaux souterrains n'étaient ouverts dans les mines du duc de Bridgewater qu'à deux niveaux différents, savoir : le premier à une profondeur de 35 à 55 mètres au-dessous du sol, suivant le profil du terrain, et le second à 34^m.50 au-dessous du précédent (1) ; c'est ce dernier qui se trouve de niveau avec le canal à grande section. Depuis 1822, un troi-

(1) Les puits les plus profonds percés de la surface jusqu'à ce canal ont 88 à 89 mètres.

sième étage a été ouvert ; il se compose , à vrai dire , d'une série de galeries canalisées , placées les unes au-dessus des autres , sans être toutefois dans le même plan vertical , et dont la moyenne peut être considérée comme étant à 140 mètres de profondeur. Nous distinguerons ces trois niveaux par les noms de *niveau supérieur* , *moyen* , *inférieur*. Le canal du *niveau moyen* débouche seul au jour ; c'est lui qui reçoit les produits des canaux inférieurs ; il reçoit aussi des charbons qui s'exploitent à son niveau et un peu au-dessus ; c'est par lui que passent , dans certains cas , des marchandises qu'amène le canal du duc de Bridgewater , et qui entrent dans le canal souterrain pour aller ressortir au jour par des puits éloignés de Worsley ; c'est par lui , enfin , que sont transportés , dans les travaux , la plupart des matériaux nécessaires à l'exploitation et aux constructions souterraines. Ce niveau est donc le plus important.

La branche principale du niveau moyen s'avance vers le nord magnétique , dans un développement de 5 655 mètres , Pl. 43 , *fig.* 18. Sur toute cette longueur le canal n'est pas rigoureusement en ligne droite. Depuis le point où il débouche , par des ouvertures (2) , dans le grand bassin qui a été creusé à Worsley (3) , il marche droit au nord magnétique pendant 3 310 mètres ; là il s'infléchit légèrement vers l'ouest pendant 212 mètres pour reprendre une direction à peu près nord $\frac{1}{2}$ nord-est , qui fait , avec la première , un angle de 12 degrés $\frac{1}{2}$. Indépendamment de gares de 3 mètres à 3^m.25 de largeur que l'on rencontre tous les 4 ou 500 mètres , et qui ont été ouvertes pour le croisement des ba-

(2) Les deux galeries qui débouchent au jour se rejoignent , dans l'intérieur , à une distance de 1 200 mètres.

(3) Ce grand bassin , qui a été le travail par lequel le duc de Bridgewater a commencé la longue série de ses gigantesques travaux , peut être considéré comme le point de départ des diverses branches du grand canal. Il a environ 320 mètres de pourtour.

teaux, la section n'est pas parfaitement uniforme sur tous les points, mais elle présente partout un demi-cylindre supporté par deux pieds-droits.

Dimensions en général.

La hauteur du plafond du canal au sommet est de. . .	2 ^m .44
La largeur est de.	2 ^m 74
Et la profondeur d'eau de.	1 ^m .10
Ainsi, du sommet de la voûte au niveau de l'eau, il y a	1 ^m .34

Dans presque toute l'étendue de ce canal, ses parois visibles sont murillées et voûtées en briques, mais la construction varie avec la nature des roches qu'on traverse. Ainsi dans certaines parties, notamment dans les grès, le rocher a été laissé complètement à nu; il n'avait besoin d'aucun soutien. et, dans quelques-unes des parties qui sont dans ce cas, la voûte est à plusieurs mètres au-dessus du niveau de l'eau. D'autres fois les grès ou les schistes forment les pieds-droits, et la voûte est seule maçonnée en briques; dans quelques cas même, c'est le charbon qui supporte sans revêtement la voûte en briques. En général, cette maçonnerie est faite avec peu de soin; le plus souvent, la voûte est formée d'un seul rang de briques posées sur champ; rarement on donne une épaisseur double en posant les briques sur pointe.

Vannes. — De loin en loin, et ceci est particulier au niveau moyen, des vannes mobiles ferment complètement le canal et le divisent ainsi en un certain nombre de biefs. Elles retiennent les eaux qui peuvent affluer des parties supérieures, ou qu'on élève des canaux inférieurs par des moyens que nous indiquerons plus loin; il en résulte que le niveau des eaux est un peu plus haut derrière ces vannes que devant, mais la différence est légère. Nous dirons dans le chapitre suivant quel est le principal usage de ces vannes, mais on voit de suite qu'elles peuvent faire fonction d'écluses de chasse pour nettoyer le fond du canal; toutefois cette opération, pour être complète, supposerait que les

eaux ont été abaissées de 1^m.10 dans le grand bassin de Worsley, et même sur une certaine étendue du canal du duc de Bridgewater. Du reste, la tête de ces vannes n'est qu'à quelques pouces au-dessus de la ligne d'eau, sans doute pour que les eaux puissent se déverser par-dessus et passer dans le bief suivant si, par une circonstance accidentelle, elles s'élevaient beaucoup dans le bief précédent. Quand on arrive aux points qui sont ainsi fermés, un des haleurs sort du bateau, et va, dans une ouverture ménagée sur le côté de la galerie, tourner la manivelle d'un treuil à engrenage dont nous avons représenté la disposition, *fig. 13*. On y voit que la chaîne, en s'enroulant sur le treuil A, met en mouvement le grand tambour B, sur l'axe duquel est un tambour C de diamètre moitié moindre. C'est sur celui-ci que s'enroule la chaîne qui élève la vanne D, disposée de manière à glisser entre des coulisses en chêne fortement scellées et mastiquées dans les parois de la galerie.

De la branche principale que nous venons de décrire, partent, à droite et à gauche, dans l'allongement des couches, et, par conséquent, dans les directions est et ouest, des branches qui sont prolongées à mesure que l'exploitation s'étend. Nous allons les parcourir rapidement.

Branches à l'est et à l'ouest. — Les plans qui nous ont été communiqués, et qui sont sur une très-grande échelle (0^m.01 pour 31^m.68), ne descendaient pas au sud jusqu'à la couche n° 1, *fig. 18*; nous ne pouvons donc donner le développement du canal dans cette couche; nous pouvons seulement affirmer qu'il est considérable, parce que la *four feet coal* est une des couches qui est le plus exploitée. Mais nous donnerons avec exactitude le développement des branches qui commencent à 3 190 mètres de la bouche du tunnel navigable à Worsley, et, pour éviter une énumération fastidieuse, nous résumerons leur développement dans le tableau suivant :

Branche principale ou nord.	5 556 mètres.
Branche à l'est.	8 379
Branche à l'ouest.	7 890

Ensemble. 21 924 mètres.

C'est-à-dire que, *sans compter les parties qui nous manquent*, la navigation souterraine, à ce seul niveau, existe sur près de cinq lieues et demie. Si l'on considère qu'en 1800, Henri Egerton avait donné 12 milles pour le développement de ce niveau (4), et qu'en 1822 Huerne de Pommeuse l'estimait à 16 milles (5), on ne sera pas étonné qu'en 1842, le directeur de tous ces vastes travaux nous ait donné le chiffre de 18 milles, ou 7 lieues un quart, pour le développement du canal au niveau moyen.

Niveau supérieur. — Développement. — Le niveau supérieur se trouve à 34^m.50 au-dessus du précédent, et la projection de sa branche nord-sud sur un plan horizontal, *fig. 18*, coupe et recoupe, jusqu'à quatre fois, la projection, sur le même plan, de la branche nord-sud du canal qui débouche au jour. Cette branche du niveau supérieur s'avance plus au nord que la branche analogue du niveau moyen. Toutes les parties qui se trouvent sur notre plan donnent le tableau suivant :

Développement de 7 branches dirigées nord et sud	3 030 mètres.
<i>Id.</i> 5 <i>id.</i> à l'est. . .	1 650
<i>Id.</i> 5 <i>id.</i> à l'ouest. .	11 152
Total.	<u>15 832</u> mètres.

Il en résulte que le niveau supérieur offre *au moins* un développement total de près de 10 milles anglais ou de près de 4 lieues de France (15 832 mètres).

Plan incliné. — C'est pour communiquer du niveau supérieur au niveau qui débouche au jour qu'avait été construit un vaste plan incliné, aujourd'hui abandonné, et que pour cette raison nous décrirons succinctement, mais

(4) *Annales des arts et manufactures*, t. XXI, p. 228; juin 1805.

(5) *Des canaux navigables*. Note de la page 11; in-4. Paris, 1822.

qui est trop célèbre pour que nous le passions sous silence après avoir visité ses ruines. Nous emprunterons les détails qu'on va lire à la description qui fut donnée de cet ouvrage remarquable, en 1800, par Henri Egerton. C'est à ce dernier auteur qu'ont dû emprunter ce qu'en ont dit O'Reilly en 1801, 1803 et 1805, Dutens et Héron de Villefosse en 1819, Huerne de Pommeuse en 1822, Charles Dupin en 1826 ; toutefois nous avons préféré remonter à la source même de tous ces renseignements, en laissant d'ailleurs notre récit prendre la couleur que la vue des lieux ne peut manquer de lui donner.

Nous venons de dire qu'à la fin du dernier siècle le canal du niveau moyen avait déjà 12 milles (19 308 mètres) de développement ; à la même époque, l'ensemble des branches du niveau supérieur avait 6 milles, ou 9 654 mètres. Les charbons de ce dernier niveau étaient amenés à un puits près duquel on les tirait des bateaux, pour les charger à la main dans des tonnes qui étaient descendues, au moyen d'un treuil à frein, dans les bateaux du canal aboutissant à Worsley. Le duc de Bridgewater résolut de supprimer cette manœuvre longue et coûteuse, en transportant sur le bief inférieur les bateaux tout chargés du bief supérieur. Pour résoudre ce problème, il agrandit, dans sa pensée, le treuil à frein qui servait à descendre les benues verticalement, et il lui donna des proportions telles, que les bateaux eux-mêmes pussent descendre sur un plan incliné. C'était à l'époque où l'on avait acquis la certitude que les Chinois se servaient de plans inclinés au lieu d'écluses, et où la question des avantages et des désavantages attachés à cette substitution préoccupait beaucoup d'esprits en Angleterre. Au mois de septembre 1795, le duc se mit à l'œuvre (6), et, profitant d'un banc de grès blanc qui avait

(6) Depuis vingt-trois ans le duc travaillait seul. Brindley était mort le 12 septembre 1772, à l'âge de cinquante-six ans.

7^m.33 de puissance et 1 mètre de pente sur 4 mètres, il atteignit le niveau supérieur, en remontant de 34^m.50, après un parcours de 138 mètres (453 pieds). Ce banc de grès se trouve à 4 133 mètres de l'entrée du canal.

Au sommet du plan incliné, deux écluses de 16 mètres de longueur et de 2^m.50 de largeur, séparées par un mur de 1 mètre, et dont le radier formait le prolongement du plan incliné, recevaient successivement, l'une un bateau chargé, l'autre un bateau vide. Le bas de chacune de ces écluses était fermé par une porte disposée de manière à se mouvoir verticalement dans des coulisses, et qu'on manœuvrait comme une vanne. Dans la partie supérieure une porte tournante, munie d'une vanne qui servait à emplir l'écluse, était refermée aussitôt que le bateau était entré. Une autre vanne permettait de vider l'écluse dont l'eau s'écoulait, par un puits, au niveau moyen. Le bateau arrivait ainsi à reposer sur un chariot de 10 mètres de longueur dont le dessous était garni de quatre roulettes en fonte qui roulaient sur un chemin de fer posé sur le radier des écluses et prolongé sur toute la longueur du plan incliné; seulement, à la partie inférieure de celui-ci, et sur une longueur de 52 mètres, les deux voies du chemin de fer se réunissaient en une seule.

On conçoit dès lors comment, au moyen d'un grand treuil à engrenage placé au-dessus des écluses et muni d'un frein puissant, on pouvait, les deux portes d'aval étant levées, faire descendre, par deux câbles enroulés en sens inverse, un bateau chargé, en même temps qu'on remontait un bateau vide qui entraînait dans l'écluse voisine de celle d'où venait de sortir le bateau chargé. Une fois que la grande roue d'engrenage avait reçu la première impulsion du pignon, on débrayait celui-ci, et le plan devenait automoteur; seulement la vitesse était modérée par le frein.

Un bateau vide pesait.	4 000 kilog.
Le chariot.	5 000
La houille chargée.	12 000
Le poids de la masse mise en mouvement était donc de	<u>21 000 kilog.</u>

On descendait ainsi, en un poste de huit heures, trente bateaux chargés. La voie des chemins de fer, ou plutôt des chemins de bois garnis de fer posés sur ce plan incliné, avait 3 mètres. La hauteur du toit au-dessus du chemin était de 2^m.50 à 3 mètres. Cette machine fonctionna pour la première fois en octobre 1797. En 1826, M. Charles Dupin la cite comme existant encore. Aujourd'hui elle est totalement détruite, et le niveau supérieur est sans communication avec le niveau moyen; les charbons dont on achève le défilage sur quelques points éloignés du plan incliné, mais plus ou moins voisins du sol, sont conduits en bateaux jusqu'à des puits par lesquels on les élève au jour.

Niveau inférieur. — Développement. — Les deux niveaux que nous venons de décrire étaient les seuls qui existassent en 1822, comme nous l'avons dit page 165. Depuis cette époque, *sans qu'on y fût obligé par les travaux antérieurs*, de nombreux canaux ont été creusés à travers blans et dans l'allongement des couches à divers niveaux dont l'ensemble peut être considéré comme étant, en moyenne, à 60 mètres au-dessous de la grande galerie navigable. D'après les renseignements qui nous ont été fournis par M. Fereday Smith, qui est placé à la tête de la vaste administration du canal de Bridgewater et des mines, les canaux souterrains du niveau inférieur n'ont pas moins de 4 lieues à 4 lieues trois quarts de développement total. Ils ont des dimensions moindres que celles du canal qui débouche à Worsley, et leur profondeur d'eau n'est que de 0^m.84.

Canal en construction. — Dimensions. — En descendant au niveau inférieur par le puits TONGE'S FIELD, nous avons

en occasion de voir un de ces canaux en construction. Ce nouveau canal est creusé dans l'allongement de la couche n° 14, à 45^m.50 au-dessous du niveau moyen; il doit être prolongé de 1 mille ou 1 609 mètres à l'ouest, et seulement d'un demi-mille à l'est, parce que là s'arrêtent, de ce côté, les propriétés de lord Egerton. — Le charbon est abattu au pic, et le schiste qu'il faut enlever au toit (la couche n'ayant que 0^m.55 en ce point) est abattu à la poudre, qui doit faire beaucoup d'effet, car ce schiste paraît assez résistant. Il faut croire cependant qu'il se déliterait au bout d'un certain temps, puisqu'on muraille complètement les pieds-droits et la voûte. On ne donne à ces murailles qu'une épaisseur de brique. Quand tout est achevé, le canal a, dans œuvre, les dimensions suivantes :

Hauteur, 6 pieds 9 pouces.	2 ^m .06
Largeur, 6 pieds 4 pouces.	1 ^m .93

Par conséquent le rayon de la partie cylindrique n'est que de 0^m.965, et les pieds-droits ont 1^m.105. Le briquetage suit de près l'avancement de la galerie. A une petite distance du puits on ouvrait, dans le schiste, une chambre assez étendue, destinée au radoubage des bateaux.

Développement total. — Nous nous arrêterons ici, pour ne donner qu'à la place qui leur convient les détails de construction dans lesquels nous nous proposons d'entrer. Cette description succincte des canaux souterrains montre que leur développement total est :

	milles anglais.	lieues de France.
Au niveau supérieur.	10	4
Au niveau moyen.	18	7 1/4
Au niveau inférieur, environ. . .	12	4 3/4
Développement total. . . 40		16

Plan général d'exploitation. — La disposition des couches représentées, *fig. 1*, étant reconnue, il est bien clair qu'on devait profiter de la régularité du terrain pour

tracer les moyens d'attaque, et que le plan général de leur exploitation était facile à arrêter. Pénétrer dans l'intérieur du plateau par une longue ligne à travers bancs et entrer dans l'allongement de chaque couche à mesure qu'on l'atteignait, pour rapporter les produits à la ligne principale, et, par elle, les amener au jour; telle était la marche qu'il fallait évidemment suivre et qu'on a suivie, comme on en a pu juger par la description que nous venons de faire des *travaux exécutés*. Parlons maintenant des *moyens employés* pour l'exécution de ces travaux, et pour l'exploitation qui en était le but.

CHAPITRE II. — MOYENS EMPLOYÉS.

Mode d'exploitation. — Les canaux une fois ouverts dans l'allongement des couches, il s'agit de pénétrer dans chacune de celles-ci. Là commence l'exploitation; le mode d'exploitation proprement dit, comprend la préparation du massif à attaquer, et l'arrachement de la houille qu'il renferme. Nous allons voir qu'on suit la méthode dite *par massifs longs*, et que ces massifs longs sont ensuite débités, pour ainsi dire, *en massifs courts*.

Préparation des massifs. — Représentons-nous deux galeries tracées suivant l'inclinaison de la couche, ces galeries s'élevant jusqu'au voisinage du niveau supérieur, et distantes l'une de l'autre de 80 mètres par exemple; puis, à égale distance de ces deux galeries, une troisième galerie menée aussi suivant l'inclinaison de la couche; et supposons que de 12 mètres en 12 mètres on mène à droite et à gauche de la galerie du milieu, parallèlement au canal, une série de galeries d'allongement atteignant de chaque côté les deux galeries de traverse ou de remontée. Il est clair que tout le massif à exploiter se trouve ainsi divisé en une série de massifs longs dont le grand côté est dans la direction de la couche.

Arrachement de la houille. — Maintenant le mineur

peut se placer dans l'une des deux galeries d'allongement qui forment le prolongement l'une de l'autre, et enlever successivement les massifs par les moyens ordinaires, c'est-à-dire en commençant par les portions qui touchent à la galerie du milieu et enlevant les produits par les galeries extrêmes pour les descendre au canal. Le visage tourné vers le nord, il fera son entaille de dépouillement (havée), puis son entaille verticale, et il s'avancera en montant jusqu'à ce qu'il ait parcouru 12 mètres. S'il a donné aussi 12 mètres à son entaille de dépouillement, on voit qu'il tend à subdiviser le massif long en une série de piliers carrés ayant chacun 12 mètres de côté. De pilier en pilier il arrivera ainsi jusqu'aux deux galeries extrêmes. A mesure que le mineur vient d'excaver une portion de l'espèce de massif court qu'il attaque, il soutient le toit au moyen de buttes (*props*). Il est bien entendu qu'il commence par le massif long le plus élevé, pour prendre successivement les autres en redescendant vers le canal.

Tel est le mode d'exploitation suivi; seulement on a soin, dans la préparation des massifs longs, de réserver, sur le bord du canal, un massif long qui a de 6 à 14 mètres d'épaisseur, pour ne pas compromettre la solidité des pieds-droits des voûtes.

Transports intérieurs. — Le charbon doit être transporté depuis les tailles jusqu'au jour; il nous faut donc parler des moyens de transport intérieur, et d'abord du *trainage*.

Trainage. — Par chemins de fer. — Il se fait par chemins de fer quand on est dans les galeries d'allongement, et il se paye un demi-penny par tonne pour 40 yards, ou 0^r.052 par tonne pour 36^m.50 parcourus. Il n'offre rien de particulier.

Sur le sol des galeries. — Dans les galeries de traverse qui, le plus souvent, sont inclinées, le trainage se fait

sur le sol même des galeries au moyen de *caisses à patins* (*baskets*), et il se paye double, ou 0^m.052 par tonne pour 18^m.25 parcourus. Nous avons vu pratiquer ce mode au niveau inférieur, et, pour décrire plus complètement les moyens de transport intérieur, nous nous supposons dans une des tailles de ce niveau où nous étions descendus par le puits *EDGE'S LANE FIELD* jusqu'à la couche *first seven feet*. Là, des filles et des enfants remplissaient à la main des caisses à patins, qui sont rectangulaires et ont les dimensions suivantes :

Longueur.	0 ^m .85
Largeur	0 ^m .61
Profondeur.	0 ^m .28
Épaisseur du bois.	0 ^m .02
Hauteur du patin.	0 ^m .15

Ce patin est armé d'une bande de fer qui a 0^m.013 d'épaisseur. Un anneau est fixé au châssis du bas à l'avant et à l'arrière de la caisse. Celle-ci peut contenir environ 100 à 136 kilogrammes (7) de charbon ou 1 hectolitre $\frac{2}{3}$ à 1 hectolitre $\frac{2}{3}$ (8); l'un des enfants tire en devant avec une bricole; l'autre, placé derrière, pousse ou retient suivant que la galerie est horizontale ou inclinée.

Les charbons arrivent ainsi au canal où un bateau, nommé *tub boat*, les attend. Dans ce bateau sont rangées six bennes (*tubs*) qui ont les dimensions suivantes :

Diamètre au fond.	0 ^m .89
Diamètre à l'orifice.	0 ^m .92
Profondeur.	0 ^m .56

Elles sont faites en bois de 0^m.028 d'épaisseur, mais l'épaisseur du tourteau qui forme le fond est de 0^m.06. Trois cercles en fer les embrassent; le fer de ces cercles a 0^m.065 de largeur, et enfin trois anses en fer s'élèvent

(7) On nous a donné, pour ce chiffre, tantôt 220, tantôt 225, et même 300 livres anglaises.

(8) En cubant les trois dimensions de l'intérieur de la caisse on trouve 1^b.45.

au-dessus de leur bord pour recevoir les crochets. Chacune de ces bennes pèse, vide, 50 à 51 kilogrammes, et contient environ 300 kilogrammes (9) de charbon, ou $3\frac{1}{2}$ à 4 hectolitres (10). A mesure que les caisses de traînage arrivent au bord du canal, on les vide pour remplir les bennes, et, quand les six bennes sont remplies, le bateau se met en marche pour les conduire à un puits qui va percer au jour, mais qui a un accrochage au niveau moyen. Ce transport se paye $1\frac{1}{2}$ penny par tonne pour une distance qui varie de 4 à 500 yards, ou 0^{fr.} 155 pour 366 à 457 mètres.

Changement de niveau. — Par puits. — Lorsque le bateau chargé est arrivé dans l'axe du puits, chaque benne est successivement accrochée aux trois chaînes qui se réunissent à l'anneau du câble, on l'enlève au signal donné par l'ouvrier, et quand elle est arrivée en un point qui est à 2 mètres environ au-dessus des eaux du canal qui débouche au jour, deux hommes poussent un plancher roulant sur lequel on dépose la benne. Aussitôt que celle-ci est décrochée, le plancher, roulant sur deux fortes traverses qui portent des ornières en fer, est amené au-dessus du canal, et là, on verse dans un bateau que nous connaissons sous le nom d'*M. boat*, le charbon dont la benne est remplie. Il faut 32 à 33 bennes pour remplir un *M. boat*. 5 ou 6 mètres seulement séparent le puits et le canal. Il est presque inutile de dire que c'est par une machine fonctionnant au jour, que nous venons de voir la

(9) On nous a donné, pour ce chiffre, tantôt 600 livres anglaises (272 kilogrammes), tantôt 700 livres ($317\frac{1}{3}$ kilogrammes).

(10) La capacité de cette benne est donnée par

$$\frac{\pi}{3} h (R^2 + r^2 + Rr)$$

$$\frac{\pi}{3} \times 0^m.56 (0^m.2116 + 0^m.198025 + 0^m.2047) = 0^m.c.36$$

à 80 kilogrammes par hectolitre, 36.60 donneraient 288 kilogrammes.

benne pleine élevée du niveau inférieur au niveau moyen, en même temps qu'une benne vide redescendait de celui-ci au niveau inférieur.

Par plans inclinés automoteurs. — Un autre moyen employé intérieurement pour changer de niveau, c'est le plan incliné automoteur. C'est par un pareil plan que le cannel coal est descendu au niveau moyen, en un point qui se trouve à 5073 mètres de l'entrée. Ce plan automoteur a été percé en partie dans la faille n° IV, et arrivé à une certaine hauteur au-dessus du tunnel navigable, on est entré dans les schistes houillers, puis bientôt dans la cannel mine elle-même, dont on a pu suivre l'allongement sans difficulté. Là les charbons sont roulés sur chemins de fer, et quand les waggons arrivent au sommet du plan incliné, ils n'ont plus qu'à descendre par leur propre poids sur le chemin de fer qui règne sur toute l'étendue du plan. La vitesse est modérée par un frein qui agit sur le treuil autour duquel sont enroulés, en sens inverse, deux câbles attachés l'un au chariot plein qui descend, l'autre au chariot vide qui remonte. Parvenus au canal, les waggons, qui s'ouvrent par devant, sont vidés dans le bateau, et ainsi de suite.

Navigation souterraine. — Bateaux. — Nous avons désigné tout à l'heure, par deux noms différents, les bateaux qui naviguent au niveau inférieur et ceux qui naviguent au niveau moyen; cela tient à ce qu'ils ont, comme les canaux de ces deux niveaux, des dimensions différentes. Du reste, tous les bateaux employés à la navigation souterraine sont construits en bois. Nous allons entrer dans quelques détails sur chaque espèce.

Le *tub boat* (bateau à benne) est un bateau extrêmement allongé qui a 10 mètres de longueur sur 1^m.20 de largeur. Nous venons de voir qu'il porte six bennes pleines, ce qui forme la charge suivante :

Poids des bennes.	300 kilogrammes.
Poids du charbon , environ. . . .	1 800
Ensemble	<u>2 100</u> kilogrammes.

Ainsi chargé , le tub boat tire environ 0^m.60 d'eau. Cette espèce de bateau est exclusivement employée au niveau inférieur , et on ne l'emploie que là.

Dans la grande galerie navigable qui va au jour , on se sert de deux espèces de bateaux : les uns , appelés *narrow boats* , naviguent dans les galeries d'allongement qui , le plus souvent , sont moins larges que la branche nord-sud. Le *narrow boat* a 13 à 15 mètres de longueur sur 1^m.40 de largeur.

Les autres , appelés *M. boats* , sont les plus grands de tous ceux qu'emploie la navigation souterraine à Worsley ; on les charge de 9 à 10 tonnes de houille ; leurs dimensions sont :

Longueur.	15 ^m .00
Largeur dans œuvre.	1 ^m .90
Largeur hors œuvre.	2 ^m .04
Profondeur.	0 ^m .85
Tirant d'eau , à vide.	0 ^m .23
Tirant d'eau , chargé.	0 ^m .72

Nous l'avons représenté , *fig. 10, 11 et 12.*

Un *M. boat* chargé sort de l'eau de 0^m.24 , par conséquent sa hauteur totale , mesurée en dehors , est de 0^m.96.

Il y a , dans l'intérieur des mines de Worsley , 150 bateaux de 10 tonnes chacun (*M. boats* et *narrow boats*) , et 100 petits bateaux de 2 tonnes (*tub boats*).

Halage. — La manière de faire avancer les bateaux est assez singulière. Le haleur se place à la renverse sur un banc oblong qui est à l'une des extrémités du bateau , et , les jambes levées en l'air , il marche sur la voûte du souterrain. On comprend aisément comment il peut ainsi donner l'impulsion et entretenir le mouvement. On n'a pas remarqué que ce genre de travail occasionnât de fatigue particulière aux hommes. A en juger par des an-

neaux qui sont fixés de distance en distance dans les pieds-droits du tunnel, il semblerait que d'autres moyens de halage ont été essayés; du reste, Huerne de Pommeuse nous en donne la certitude; nous lisons au livre I^{er} de son ouvrage :

« Le halage de ces bateaux se fait à l'aide de branches horizontales qui, saisies par le haleur, lui donnent assez de force pour pouvoir haler plusieurs bateaux à la fois, attachés les uns aux autres. Philipps et Arthur Young disent qu'on a vu un seul jeune homme haler ainsi, à la fois, 21 de ces bateaux attachés à la suite l'un de l'autre et chargés de 8 tonnes chacun, ce qui faisait 168 tonnes (11). »

Ainsi plusieurs moyens ont été employés, et l'on a fini par se fixer à celui que nous avons décrit plus haut. Nous devons ajouter maintenant que le travail des hommes est rendu plus facile par la précaution qu'on prend de laisser amasser les eaux, pendant le jour, derrière les vannes dont nous avons parlé précédemment. Lorsqu'ils emmènent les bateaux qui ont été chargés pendant les douze heures de travail, les haleurs lèvent successivement ces vannes à mesure qu'ils y arrivent et ne les baissent pas quand ils les ont franchies; il en résulte, jusqu'à la vanne suivante, un petit courant qui aide le mouvement descendant (12). Parvenus à la vanne suivante, ils font la même manœuvre, et ainsi de suite jusqu'au dernier flot qui les conduit dans le bassin de Worsley. En remontant les bateaux vides, les haleurs trouvent le canal parfaitement de niveau, et

(11) Huerne de Pommeuse, *Des canaux navigables*, p. 13, in-4. Paris, 1822.

Philipps et Young avaient évidemment emprunté ce fait à O'Reilly; seulement ce dernier ne donne que le chiffre de 140 tonnes qui correspond à un peu plus de 142 tonnes françaises.

(12) Ce petit courant peut entraîner, en partie du moins, les boues qui se déposent dans le canal, comme nous l'avons déjà fait observer page 167.

ils abaissent les vannes derrière eux à mesure qu'ils les ont dépassées. Les haleurs doivent se mettre en marche à l'heure voulue, suivant la distance, pour arriver au bassin de Worsley avant quatre heures du matin, de telle sorte que les bateaux puissent être dirigés, sans perte de temps, vers leurs destinations respectives.

Par le mode de halage que nous avons vu pratiquer, six hommes conduisent un convoi de 40 bateaux. Supposons chacun de ces bateaux chargé de 9 tonnes (ce qui est le cas le plus habituel), la tonne anglaise étant de 1015^{kil.}65, cela fait un chargement de 365 634 kilogrammes, ou près de 61 tonnes françaises par homme. Une pareille charge, qui s'éloigne cependant beaucoup de celle donnée par Huerne de Pommeuse, et même de celle donnée par O'Reilly, est cependant encore énorme, et suppose que le convoi s'avance avec une extrême lenteur; en effet, il ne parcourt guère qu'un demi-mille, ou 80^m50 par heure, ce qui ne correspond qu'à une lieue en 5 heures. Les haleurs reçoivent chacun 13 shillings ou 16 fr. 25 c. par semaine. Ils sont assujettis à remonter les bateaux vides, et à remonter tous les matériaux nécessaires aux travaux intérieurs, tels que bois, mortiers, briques, etc.

Transports extérieurs. — Le but final des divers modes de transport que nous venons de décrire est d'amener les charbons au canal du duc de Bridgewater; or, pour les mines qui sont très-éloignées du *navigable tunnel*, et dont les charbons sont élevés jusqu'au jour par des puits, il faut les transporter depuis l'orifice de ceux-ci jusqu'au canal. C'est par des chemins de fer que ce transport a lieu.

Railway du Sânderson's pit. — Développement. — *Plan automoteur.* — Ce chemin de fer est à deux voies et a environ 1200 mètres de développement. Vers le milieu, un plan automoteur, qui n'a pas moins de 400 mètres de longueur, sert à remonter les waggons vides par la gravita-

tion des waggons pleins qui descendent. La corde glisse sur une poulie placée au sommet du plan, et la vitesse n'est modérée que par les freins mêmes des waggons.

Waggon. — Les waggons contiennent 2 à 2 $\frac{1}{2}$ tonnes. Ils portent sur le côté un frein extrêmement simple qui a une grande puissance, parce qu'il peut agir comme un coin. Les *fig. 4, 5 et 6* donnent une idée des principales dispositions. Une crémaillère A sert à fixer ce frein au point convenable de frottement. Ils peuvent être vidés par deux moyens : 1° par devant, en soulevant le levier B, *fig. 5*, lorsqu'on veut les décharger dans les bateaux du canal, la porte tourne autour de l'axe CD ; 2° par le fond, lorsqu'on veut remplir des voitures qu'on amène, au-dessous d'une gare du railway, par un chemin creux. Dans ce but, un axe E, *fig. 6*, est mis en mouvement par deux pignons et par une manivelle qu'on adapte à volonté au pignon moteur. Sur cet axe s'enroule une chaîne qui se sépare en deux, et supporte les deux battants F, G. Si on tourne la manivelle de manière à dérouler la chaîne, le poids du charbon aide ce mouvement et pèse sur les portes. On voit de suite comment le waggon peut être complètement et rapidement vidé. Quand les portes sont dans la position horizontale et que le waggon est chargé, le tout est maintenu par un déclic.

Prix du transport. — Les waggons vides sont remontés par des chevaux dans toute la partie où n'existe pas le plan incliné automoteur. Les chevaux appartiennent aux entrepreneurs du transport, mais les waggons et leur entretien sont à la charge de lord Francis Egerton. Pour ce transport, on paye 1 penny $\frac{1}{2}$ par demi-mille et par tonne, ou off. 194 par 1000 mètres et par tonne ; ainsi, du puits Sanderson au canal, une tonne de charbon paye off. 2528, sans compter l'entretien du chemin et du matériel. Quand ces chemins sont horizontaux au lieu d'être à plans inclinés comme celui de Sanderson, on paye 2 pence par demi-

mille et par tonne, ou 0^{fr}.258 par 1000 mètres et par tonne.

Rentrons maintenant dans les travaux souterrains dont nous venons de sortir un instant, et achevons de signaler les circonstances les plus intéressantes de leur ensemble.

Airage. — Il est facile de prévoir que l'air doit être généralement bon dans des galeries navigables disposées comme nous l'avons dit, percées de puits auxquelles les inégalités du sol donnent d'inégales profondeurs, et dans lesquelles une navigation active de bateaux ascendants et descendants met sans cesse l'air en mouvement. D'ailleurs le *grisou* paraît se montrer en petite quantité dans ces mines (13). En naviguant dans la galerie qui débouche à Worsley, et un peu avant d'arriver au pied du grand plan incliné, on remarque un petit jet de gaz qui sort constamment d'une des fissures du rocher, et qu'on a la précaution de tenir allumé pour faciliter son écoulement. Nous l'avons éteint en soufflant dessus et l'avons rallumé, laissant ainsi à ceux qui nous suivraient une lueur qui n'est pas un fanal, même dans cette obscurité profonde, mais qui est du moins un repère que tous les haleurs connaissent. Au niveau inférieur, dans les travaux du nouveau canal pour construction, le sifflement du grisou se faisait entendre comme pour avertir de sa présence, mais il n'était pas assez fort pour que des précautions particulières dussent être prises.

Éclairage. — On ne se sert pas de lampes. On s'éclaire avec de petites chandelles fixées dans une pelotte d'argile, comme cela se pratique dans plusieurs mines de la province de Liège. L'éclairage est au compte des ouvriers.

Épuisement des eaux. — La grande galerie navigable

(13) Il paraît cependant que le gaz s'est montré très-abondant dans la *first five quarters coal* (couche n° 10), et que cette circonstance, jointe à ce que son toit était très-ébouleux, a fait renoncer, au moins provisoirement, à son exploitation.

reçoit et écoule au dehors toutes les eaux qui viennent des parties supérieures à son niveau ; elle peut donc être, aussi, considérée comme une *galerie d'écoulement*. Quant aux eaux des galeries inférieures qui excèdent ce qui est nécessaire à la navigation, elles sont élevées par des pompes au niveau de cette même galerie d'écoulement. On économise ainsi toute la force qui serait nécessaire pour élever à la surface les eaux des plus grandes profondeurs. Ces pompes sont mises en mouvement par des machines à vapeur.

Quant aux puits dont les travaux ne communiquent pas avec les canaux souterrains, l'épuisement de leurs eaux se fait par des machines qui les amènent au jour. Ainsi au puits *Sanderson*, qui a 127^m.50 (140 yards) de profondeur, l'épuisement se fait par trois répétitions de pompes dont les tiges sont mues, au moyen de tirants, par la même machine qui élève les bennes à charbon. Enfin, dans certains puits, comme par exemple dans un de ceux qui sont ouverts sur la *second brassey*, les charbons sont élevés au jour, mais les eaux s'écoulent au canal.

Service des puits. — Machines. — Ce sont quelquefois, comme on le voit, des machines à vapeur qui desservent les puits ; mais ceux qui aboutissent aux canaux souterrains sont, dans un grand nombre de cas, desservis par une machine dont l'eau est le moteur, et qui mérite une description particulière. On la désigne sous le nom de *machine à balance (balance engine)* ; nous l'avons représentée, *fig. 2 et 3*.

Sur un axe GH que supporte, à 6 mètres du sol, une charpente solide, sont distribués :

- 1° Une grande roue A, de 5 mètres de diamètre, qu'embrasse un frein dont la puissance est mesurée par la longueur des bras de levier PQ, PR ;
- 2° Deux tambours moteurs B qui ont 1^m.70 de diamètre, et sur lesquels s'enroulent deux chaînes auxquelles sont

suspendues des caisses (*) F portant sur leur fond une soupape à tige T : nous avons représenté séparément cette caisse. *fig. 9*, sur une échelle double ;

3° Un tambour C de 4^m.80 de diamètre, sur lequel s'enroulent deux câbles plats qui font le service du niveau moyen au jour ;

4° Un tambour D de 2^m.68 de diamètre, sur lequel s'enroule un seul câble plat qui fait le service du niveau inférieur au niveau moyen ;

5° Enfin une bobine E, sur laquelle s'enroule une chaîne contre-poids.

L'axe qui supporte ces six pièces a 0^m.34 de diamètre.

Supposons maintenant que la caisse F est remplie avec de l'eau qui lui arrive d'un point plus ou moins voisin de la surface ; elle descend par son poids , et , arrivée au fond du puits particulier où elle se meut, la tige T heurte contre le fond, la soupape se lève, et l'eau s'écoule. Pendant cette descension, les câbles se sont enroulés sur les tambours C et D, et la seconde caisse à eau a remonté vide.

On conçoit aisément comment les diamètres des tambours C et D peuvent être calculés par rapport à ceux des tambours moteurs B, de telle sorte que , quand la caisse à eau F a atteint le point où elle se vide, les bennes à charbon qui se meuvent dans le puits à desservir soient parvenues, l'une au jour, l'autre au niveau moyen. Connaissant les poids à élever, on conçoit aussi que les dimensions de la caisse à eau, et la quantité d'eau qu'on y introduit, puissent être calculées de manière à ce que son poids n'excède pas trop celui du fardeau total à élever, car autrement il y aurait de l'eau consommée en pure perte. Quoi qu'il en soit, le frein sert à régler le mouvement,

(*) Les douves de ces caisses sont en bois de chêne du pays ; elles ont 0^m.152 de largeur sur 0^m.032 d'épaisseur. Le fond est en bois d'orme de 0^m.076 d'épaisseur.

et celui-ci peut être modéré autant qu'on le veut ; il peut même être totalement arrêté aussitôt qu'on le veut. En donnant l'eau dans celle des caisses F, qui vient de remonter vide, le jeu de la machine recommence, et ainsi de suite.

La machine, telle que nous l'avons figurée, et que nous venons de la décrire, peut être considérée comme une *balance engine à double effet*. Mais supposons maintenant que les chaînes des tambours B soient enroulées dans le même sens et viennent s'attacher à une seule caisse à eau. Celle-ci, remplie, produira, en descendant, l'effet que nous décrivions tout à l'heure ; mais elle devra être remontée, et toutes choses devront être ramenées dans leur premier état, par la chaîne contre-poids enroulée sur la bobine E. Une pareille machine serait une *balance engine à simple effet*, parce que le moteur, qui est l'eau, ne produirait le mouvement que dans un sens.

Le levier, au moyen duquel le machiniste serre ou lâche le frein, a une grande puissance, puisque ses bras sont dans le rapport de $4^m.55$ à $0^m.72$, ou $6^m.33$ à 1. Le machiniste place à volonté l'extrémité du grand bras en un des points de la crémaillère ST. On remarquera, sur la *fig. 3*, que les jantes du frein fixées aux raies sont comme enveloppées de secondes jantes. Cette disposition a pour but de renouveler à volonté ces jantes extérieures quand elles sont usées par le frottement.

Une corde permet de lever la vanne ou soupape par laquelle la caisse à eau peut être remplie. Quant à l'eau motrice, elle provient, dans certains cas, d'étangs qui sont à la surface, et alors la hauteur de la chute est mesurée par la distance qui existe entre la surface et le niveau supérieur, ou même entre la surface et le niveau moyen, selon la profondeur de laquelle on veut élever des fardeaux. Mais souvent aussi l'eau motrice provient du niveau supérieur, et la hauteur de la chute est alors mesurée par la distance qui

existe entre le niveau supérieur et le niveau moyen. Dans ce cas, on voit quel merveilleux parti est tiré des eaux souterraines, puisque après avoir servi à naviguer au niveau inférieur, on emploie celles du niveau supérieur à élever les charbons du niveau inférieur au niveau moyen, et que, réunies là, elles servent à transporter ces mêmes charbons jusqu'au bassin de Worsley.

Il est certainement difficile de rencontrer un concours de circonstances aussi favorables, mais on doit convenir qu'il est difficile d'en tirer un meilleur parti, et par des moyens à la fois plus simples et plus ingénieux.

Câbles.—L'usage des *câbles plats* est général sur les puits de Worsley; on ne s'y sert pas de chaînes comme dans le Staffordshire. Ces câbles ont 0^m. 10 de largeur, et se payent 1 fr. 38 le kilogramme (14).

Le mètre pèse. 24.725
Et coûte. 3fr. 76 (15)

A la partie inférieure du câble est suspendue une traverse que nous avons représentée *fig. 16* et *17* qui fait fonction de *guide*. Elle se compose de deux pièces assemblées par des boulons horizontaux, et au milieu desquelles est réservée une ouverture par laquelle passe la chaîne qui porte la benne. A chacune des extrémités de cette traverse se trouvent deux galets *aa*, *bb*, dont les axes sont parallèles à celui de la traverse, et qui roulent sur les deux faces latérales d'une longrine posée verticalement sur toute la hauteur du puits. On conçoit dès lors comment il est impossible que la benne s'écarte de la verticale. Ce mode est fréquemment employé, et nous pouvons encore à ce sujet citer le puits Sanderson.

(14) En France on les paye 1fr. 70 à 1fr. 80 le kilogramme, en Belgique 1fr. 25 à 1fr. 30.

(15) Les chiffres qui nous ont été donnés sont :
5 shillings 6 pence pour 6 pieds,
et 56 shillings pour 112 livres.

Détails de construction. — Nous allons maintenant entrer dans quelques *détails de construction*, d'abord en donnant les prix de certains matériaux d'un usage journalier, et finalement pour fournir le prix de revient des canaux souterrains, et des bateaux qui sont le plus employés dans leur navigation.

Matériaux. — La pierre de taille est rarement employée dans les constructions de cette partie de l'Angleterre, parce qu'il faut la tirer de très-loin. Les grès colorés dont nous avons eu occasion de parler au commencement de ce mémoire ont été employés dans les ouvrages du canal du duc de Bridgewater : on rapporte qu'il les tirait de ses propres domaines, et qu'utilisant chaque partie du canal à mesure de son achèvement, les ouvriers taillaient les pierres sur les bateaux mêmes qui les transportaient des carrières aux chantiers (16). Les grès si faciles à travailler, qui sont employés en ce moment même à la construction du magnifique château que lord Egerton fait élever à Worsley, sont tirés de Ollington dans le Staffordshire.

Briques. — En dehors de ces exceptions, toutes les constructions sont en briques, et, soit que celles-ci soient mal cuites, soit que l'argile employée à leur fabrication soit médiocre, on remarque dans les tas ou meules un grand nombre de très-mauvaises briques. Quoi qu'il en soit, ces briques ont les dimensions suivantes :

Longueur, 9 pouces.	0 ^m .228
Largeur, 4 pouces 1/2.	0 ^m .114
Épaisseur, 3 pouces.	0 ^m .076

Leur prix de revient, par mille, peut se détailler ainsi :

(16) Cordier, *Histoire de la navigation intérieure*, t. I, page 116; in-8. Paris, 1819.

	fr.
Terrain à briques.	1.875
Enlèvement de la terre végétale.	0.104
Béchage.	1.250
Délayage.	2.0834
Transport par brouettes.	2.0834
Moulage.	2.0834
Transport au séchage.	0.8334
Empilage et cuisson.	2.8125
Charbon.	2.8125
Sable et abri.	0.2083
Outils et ustensiles.	0.9375
Droit payé au gouvernement.	7.2916
	<u>24.375</u>

En effet, le chiffre de 19 shillings 6 pence, qui nous a été donné, correspond bien à 24^{fr.}375; mais, soit que quelques faux frais se trouvent omis dans le détail ci-dessus, soit pour tenir compte des déchets, on établit toujours les calculs sur 22 shillings par mille de briques ou 27^{fr.}50.

Mortiers. — On emploie des mortiers différents, suivant que le briquetage est établi dans des parties sèches ou dans des parties où il y a des filtrations d'eau. Dans le premier cas, le mortier est fait avec de la chaux ordinaire et du sable; dans le second cas, c'est un mélange de chaux ordinaire (*peak frest lime*) et de chaux hydraulique (*sutton lime*) avec du sable. La chaux hydraulique se tire des environs de Leigh, dans les propriétés de lord Francis Egerton.

Canalx souterrains. — Nous avons vu qu'il y a des canalx souterrains de deux dimensions, et nous avons donné ces dimensions pages 167 et 173; en outre, ils peuvent être construits en briques sur champ ou en briques sur pointe; enfin, ils peuvent être construits en mortier de chaux hydraulique ou en mortier de chaux ordinaire, suivant qu'on est ou non gêné par les filtrations d'eau. Voici, dans ces cas divers, les quantités de briques employées, leur prix, et la valeur du mortier par mètre courant :

Grande section (9 pieds de largeur).

	fr.	fr.
<i>Briques sur pointe</i> , 1 200 briques à 27fr.50.	33.00	33.00
Mortier de chaux ordinaire.	"	3.75
Mortier de chaux hydraulique.	10.25	"
	<hr/> 43.25	<hr/> 36.75
	(a)	(b)
<i>Briques sur champ</i> , 600 briques à 27fr.50.	16.50	16.50
Mortier de chaux ordinaire.	"	1.875
Mortier de chaux hydraulique.	5.625	"
	<hr/> 22.125	<hr/> 18.377
	(c)	(d)

Petite section (6 pieds ¼ pouces de largeur).

	fr.	fr.
<i>Briques sur pointe</i> , 600 briques à 27fr.50.	16.50	16.50
Mortier de chaux ordinaire.	"	2.50
Mortier de chaux hydraulique.	7.50	"
	<hr/> 24.00	<hr/> 19.00
	(e)	(f)
<i>Briques sur champ</i> , 300 briques à 27fr. 50.	8.25	8.25
Mortier de chaux ordinaire.	"	1.25
Mortier de chaux hydraulique.	3.75	"
	<hr/> 12.00	<hr/> 9.50
	(g)	(h)

Une fois en possession de ces divers éléments, nous allons établir le prix de revient d'un mètre courant de canal souterrain, en commençant par celui que nous avons vu construire au niveau inférieur et qui était, comme tous ceux de ce niveau, à petite section.

A petite section. — Le vide d'une pareille galerie est de 3^{m.c.}.58 par mètre courant, savoir :

Pour la partie voûtée.	1 ^{m.c.} .4627
Pour la partie droite.	2 . 11515
Ensemble	<hr/> 3 ^{m.c.} .57785

Nous supposons qu'un mètre cube de ces déblais faits dans le schiste pèse 1 800 kil.; il s'agirait, par conséquent, de transporter, par mètre courant, environ 6 $\frac{1}{2}$ tonnes, si la galerie ne fournissait pas du charbon, comme cela arrive quand on marche dans l'allongement des couches.

Ce transport de déblais à des distances de plus en plus

considérables à mesure qu'on s'éloigne du puits, est l'élément variable d'un pareil travail. Pour les premiers 100 yards (91 mètres) on ne donne rien. Une fois parvenus à 100 yards du puits, les mineurs reçoivent $\frac{1}{4}$ penny par tonne et par distance de 40 yards parcourus, ce qui revient à 0^{fr}.052 par tonne (1 000 kilog.) et par 36 mètres $\frac{1}{4}$ parcourus. Il est évident que les prix ainsi payés forment une progression arithmétique croissante dont la raison et le premier terme sont 0^{fr}.052, et que le prix à payer se calcule de la manière suivante :

Soit D la distance totale à parcourir. Les premiers 91 mètres ne se payant pas, la progression commence à une distance marquée par D—91. Si l'on divise ce nombre par 36.50, on aura :

$$\frac{D-91}{36.50}$$

c'est-à-dire le nombre par lequel il faut multiplier 0^{fr}.052 pour avoir le prix cherché.

Les travaux de ce genre, dans les mines de Worsley, se font à l'entreprise, mais l'entreprise des ouvriers ne porte que sur la main-d'œuvre. On leur fournit les outils, les briques et le mortier; la poudre et la chandelle sont seules à leur compte. Ils travaillent pendant la nuit s'ils le veulent, mais leur coutume est d'entrer à six heures du matin et de sortir à six heures du soir.

Pour le percement et le transport des déblais à 91 mètres (100 yards) du puits, transport qui s'exécute par chemins de fer, on paye 14 shillings par yard d'avancement (17), ou par mètre. 19^{fr}.23

Pour le *briquetage sur champ*, 3 shillings par yard (18), ou par mètre. 4^{fr}.11

Pour les briques et le mortier, dans le cas plus simple (h). 9^{fr}.50

A reporter. 32^{fr}.84

(17) Il y a peu de temps encore on donnait 20 shillings (25 fr.) pour le même travail. L'excessive concurrence qu'amène le ralentissement des affaires a fait baisser ce prix d'un tiers.

(18) Pour une voûte à *briques sur pointe*, c'est-à-dire dont le revête-

fr.
Report. 32.84

Quant au transport des déblais, si nous nous supposons à une distance de 600 mètres du puits, nous aurons

$$\frac{600-91}{36.50} = 14$$

Or, $14 \times 0.052 = 0\text{fr.}73$ nous donnera le prix du transport d'une tonne de déblais à cette distance : et 0.73×6.50 (voir page 191) sera le prix du transport des déblais pour un mètre d'avancement, ou. 4.75

Ensemble. 37.59

Si nous ajoutons $1/8$ pour les outils et les frais divers, ou. . . 4.71

. Nous avons. 42.30

pour le maximum du prix de revient, par mètre courant, de ces canaux souterrains à petite section.

Pour un pareil canal à *briques sur pointe* et maçonnerie avec ciment de chaux hydraulique, on aurait :

	fr.
Percement.	19.25
Briquetage.	7.55
Briques et mortier (e)	24.00
Transport des déblais.	4.75
	<u>55.53</u>
Pour outils et frais divers $1/8$	6.94
Ensemble.	<u>62.47</u>

par mètre d'avancement.

A grande section. — D'après les dimensions que nous avons données page 167, le vide à former dans le percement d'une pareille galerie est de 5^{m.c.}.85 par mètre courant, savoir :

	m. c.
Pour la partie voûtée.	2.9165
Pour la partie droite.	2.9318
Ensemble.	<u>5.8483</u>

et le poids des déblais à enlever est d'environ 10 $\frac{1}{2}$ tonnes. Cela posé, nous aurons :

ment à une épaisseur double de celle dont nous parlons, on paye 5 shillings 6 pence par yard, ou 7^{fr.}.55 par mètre pour le briquetage.

CANAUX SOUTERRAINS.

193

Perçement, transport compris des déblais pendant les 100 premiers yards, 25 schillings par yard d'avancement et par mètre.	fr. 34.34
Briquetage sur champ, 4 sh. 6 p. par yard (19). ou, par mètre.	6.18
Briques et mortier dans le cas le plus simple (d).	18.38
Transport des déblais dans la même hypothèse que nous avons faite page 192.	7.67
Ensemble.	66.57
Outils et frais divers 1/8.	8.33
On a donc.	<u>74.90</u>

dans le cas le plus favorable.

Si nous supposons le *briquetage double* et l'emploi de la chaux hydraulique, il vient :

Perçement.	fr. 34.34
Façon du briquetage.	10.30
Briques et mortiers (a).	43.25
Transport des déblais.	7.67
	<u>95.56</u>
Outils et frais divers 1/8.	11.94
Ensemble.	<u>107.50</u>

par mètre d'avancement ; ce qui correspond à 4 livres 6 schillings.

Quand il se présente des difficultés, ce prix s'élève jusqu'à 8 livres ou 200 fr. par mètre courant, mais 4 à 5 livres ou 100 à 125 fr. nous a été indiqué comme prix moyen de ces canaux souterrains, et cette indication s'accorde avec les détails dans lesquels nous venons d'entrer.

Bateaux. — Les bateaux se construisent dans des chantiers qui sont au bord du canal du duc de Bridgewater ; mais une fois descendus à un des niveaux qui ne débouchent pas au jour, on les répare dans des chantiers souterrains, comme cela ressort de ce que nous avons dit page 173.

(19) Pour le *briquetage double*, on donne 7 schillings 6 pence par yard, ou 10 fr. 30 par mètre.

Un *M. boat* coûte 1 513^{fr.}.75 que l'on peut détailler ainsi :

	fr.
Bois.	1 200.00
Clous et ferrements.	100.00
Façon.	150.00
Gondronnage.	26.25
Calfatage.	37.50
	<hr/>
	1 513.75

Un tel bateau bien établi dure vingt ans.

Halage au niveau inférieur. — Nous avons vu (page 177) que, pour une distance de 4 à 500 yards (365 à 455 mètres), le haleur du canal inférieur reçoit 1 $\frac{1}{2}$ penny (0^{fr.}.156) par tonne, ou 0^{fr.}.0125 par hectolitre; et nous avons vu que, parvenues au puits par lequel elles doivent être élevées, les bennes sont successivement accrochées dans le bateau même.

Accrochage. — Cet accrochage est payé $\frac{1}{2}$ penny (0^{fr.}.052) à 1 penny (0^{fr.}.104) par tonne, selon qu'il y a plus ou moins d'activité. C'est 0^{fr.}.0041 à 0^{fr.}.0083 par hectolitre.

Élevage. — Pour élever les bennes, le machiniste reçoit de 3 à 5 farthings par tonne, c'est-à-dire 0^{fr.}.078 à 0^{fr.}.13, ou, par hectolitre, 0^{fr.}.006 à 0^{fr.}.0104.

Recette. — L'ouvrier qui reçoit les bennes à l'orifice du puits est payé, suivant la difficulté, 1 penny à 1 penny $\frac{1}{2}$ par tonne, c'est-à-dire 0^{fr.}.104 à 0^{fr.}.18 par tonne, ou 0^{fr.}.00833 à 0^{fr.}.014583 par hectolitre.

Chargements des M. boats. — Pour charger les *M. boats*, on paye $\frac{1}{2}$ penny par tonne, c'est-à-dire 0^{fr.}.052 par tonne, ou 0^{fr.}.004 par hectolitre.

Halage au niveau moyen. — Nous avons vu (pages 179 et 180) comment et à quel instant se fait le halage des *M. boats*. Pour ce travail, les six hommes qui en sont chargés reçoivent chacun 13 shillings (16^{fr.}.24) par semaine, ou 2^{fr.}.71 par jour. Pour 40 bateaux par jour chargés à

9 tonnes, ils opèrent ainsi un transport journalier de 360 tonnes (20), ou de 2 160 par semaine, temps pendant lequel leur salaire représente une somme de 97^{fr}.50. On a donc 0^{fr}.0451 par tonne, et comme la distance parcourue est moyennement de 3 809 mètres, ainsi que cela ressort du tableau ci-dessous, cela donne 0^{fr}.019 par tonne et par mille anglais; mais ce chiffre ne se rapporte évidemment qu'à un des prix payés, prix qui sont indiqués dans le tableau suivant :

(20) Pour 300 jours de travail, c'est 108 000 tonnes par an.

(Voir le tableau page 196).

Prix du halage d'une tonne au niveau moyen, selon les distances.

NOMS DES COUCHES.	DISTANCES de ces couches au bassin de Worsley.	PRIX TOTAL tel qu'il est donné par les tableaux	PRIX RESTANT quand on déduirait 1/2 pence (0fr. 052) pour le chargement des M. boats.	PRIX DU HALAGE		
				pence.	penny.	par mille anglais (1609 m.)
	milles anglais.	mètres.	pence.	francs.	francs.	par 1000 mètres.
1 ^{re} Crumbouke, 1 ^{re} seven feet.	1.35	2 127 (a)	3/4	0.078	0.19	0.0122
White et Black coal.	2.00	3 164 (b)	1	0.104	0.254	0.0164
Second old Doe.	2.66	4 292	2	0.208	0.562	0.0363
Dean moor et cannel coal (c) .	3.50	5 655	4	0.417	1.00	0.0645
Moyennes.	2.367	3 809				0.0537

(a) L'une des couches est à 2 018 mètres, l'autre à 2 237; la moyenne de ces deux distances est 2 127 mètres.

(b) L'une des couches est à 3 148, l'autre à 3 180 mètres.

(c) Le cannel coal n'est pas à l'extrémité du tunnel comme le dean moor coal, mais le service du plan automoteur est probablement compris dans le halage.

La somme des distances parcourues est de 15 237 mètres, et c'est cette somme qui, divisée par 4, donne 3 809. Les quatre prix qui restent, après la défalcation, forment un total de 0^{fr}.599, dont le quart est 0^{fr}.14975; et les proportions :

$$\begin{array}{l} 15\ 237 : 0^{\text{fr}}.599 :: 1\ 609 : x \\ 3\ 809 : 0^{\text{fr}}.14975 :: 1\ 609 : x \end{array}$$

donnent indistinctement le chiffre que nous avons considéré comme le prix moyen du halage par tonne et par mille anglais.

Si l'on compare ces prix avec ceux que nous avons donnés (page 182) pour les transports par chemins de fer, on trouve :

Pour 1000 mètres parcourus, et par tonne.

	fr.
Par le tunnel, <i>prix moyen</i>	0.04
Par chemins de fer avec plan automoteur. . .	0.11/4
Par chemins de fer horizontaux.	0.258

nombre qui sont dans le rapport de 1 à 4.85 et à 6.45.

Canal du duc de Bridgewater. — Ce qui précède nous conduit tout naturellement à parler du célèbre canal du duc de Bridgewater, canal qui fut conçu pour donner la vie aux mines, alors languissantes, de Worsley, et qui répondit si bien aux espérances de son auteur, mais qui répondit surtout à la noble pensée d'un noble cœur, en donnant à la canalisation de l'Angleterre l'impulsion qui fait aujourd'hui sa gloire et sa richesse. Les difficultés étaient grandes; toutes les médiocrités locales avaient coalisé la puissance de leurs railleries pour porter le découragement dans une âme non encore éprouvée; le jeune duc de Bridgewater abaissa sur les intrigues et les sarcasmes de ces nouveaux pharisiens le regard tranquille de sa supériorité; appuyé sur Brindley, cet autre homme de génie qui ne savait ni lire ni écrire, il marcha droit à son but, et il y marcha pour l'atteindre.

Sans doute, il serait hors de propos de décrire ici ce

canal qui a été décrit tant de fois, notamment dans les ouvrages que nous avons eu occasion de citer dans ce mémoire ; mais nous rappellerons rapidement les circonstances principales de sa construction, et nous y ajouterons quelques détails qui ont directement trait au sujet qui nous occupe, détails qui, d'ailleurs, ne se trouvent nulle part à notre connaissance.

Section. — Trois coupes en travers nous ont été remises ; la première est faite entre le pont de Timperley et celui de Marsland ; elle donne pour la largeur au niveau de l'eau, 14^m.63.

La seconde, entre Throstlenest et le pont de Coleshill, 13^m.72.

La troisième, qui est celle de la branche de Leigh (*section opposite Worsley-Hall*), donne 10^m.67.

La profondeur d'eau, au milieu, varie de 1^m.45 à 1^m.52. Les chemins de halage (*towing path*) ont trois mètres de chaque bord. Les bords du canal sont en pierre de taille (grès) sur une hauteur de 1 yard (0^m.91), et l'on évalue la dépense d'une pareille bordure à 9 shillings par yard, ce qui correspond à 12^{fr}.36 par mètre.

Développement. — En prenant le bassin de Worsley pour point de départ, le canal du duc de Bridgewater peut être considéré comme composé de trois branches.

La *branche sud-ouest*, la plus grande, va de Worsley à Runcorn, à l'embouchure de la Mersey. Elle a un développement de 29 $\frac{1}{4}$ milles (12 lieues), divisé en six relais de la manière suivante :

	milles.	lieues.
De Worsley à Stretford.	5 $\frac{3}{4}$	2.32
De Stretford à Broadheath. . . .	3 $\frac{1}{2}$	1.41
De Broadheath à Burford lane (21).	6 .	2.42
De Burford lane à Stockton quay.	5 .	2.02
De Stockton quay à Preston brook.	4 $\frac{1}{2}$	1.81
De Preston brook à Runcorn. . .	5 .	2 02
	<hr/> 29 $\frac{3}{4}$ <hr/>	<hr/> 12.00 <hr/>

(21) Ou *Lymn*. Ces deux points se touchent.

A une lieue de Worsley, on atteint le fameux pont-aqueduc sur lequel on passe de la rive droite à la rive gauche de l'*Irwell*. Ce pont-aqueduc a près de 183 mètres de longueur et 10^m.972 de largeur ; il franchit l'*Irwell* sur trois arches, dont celle du milieu a 19^m.20 d'ouverture, et est assez élevée pour laisser passer des bédandres, toutes voiles dehors. C'est cet ouvrage, le premier de ce genre exécuté en Angleterre, qui découragea Brindley lui-même, et qui, plus qu'aucun autre peut-être, obligea le jeune duc à déployer toute la grandeur de sa persévérante énergie. Avant d'arriver à Stretford, en un point qu'on nomme *Water meeting*, une seconde branche du canal se détourne à l'est pour aller à Manchester communiquer aux nombreux canaux qui aboutissent à cette vaste manufacture. Là, le canal du duc de Bridgewater a deux ports, l'un qu'on nomme *Castle-Field* ou *Castle-Quay*, l'autre *Banktop*. Ce dernier est celui qui communique aux écluses du Rochdale canal. De Worsley à Manchester il y a 8 milles (31.218), et de Water meeting à Manchester environ 5 000 mètres (1 lieue $\frac{1}{4}$).

A peine a-t-on laissé Stretford sur la droite, qu'on traverse la *Mersey* sur un second pont-aqueduc qui forme la communication entre le Lancashire et le Cheshire.

Aux abords de Preston brook, le canal se détourne au sud pour entrer dans le *Preston tunnel* qui appartient, du reste, à une ligne navigable. Le Preston tunnel est le point de départ de la ligne de navigation connue sous le nom de *grand Trunk canal*, qui se dirige au sud-est, à travers tout le Cheshire, vers Northwich, Middlewich, etc., et qui, après avoir atteint le *Macclesfield canal*, entre dans le Staffordshire par un souterrain (le *Harecastle tunnel*) de 2 888 yards (2 640 mètres) de longueur.

La troisième branche ou branche ouest du canal du duc de Bridgewater fut exécutée en 1795 ; elle s'étend de Worsley à Leigh, ville renommée pour ses fabriques de

futaines. Jusqu'à Leigh, sur un développement de 6 milles (2^l.41), cette branche appartient à lord Francis Egerton. En 1819, on l'a prolongée encore de 6 milles, jusqu'à Wigan, mais cette dernière partie est considérée comme appartenant à une branche de l'immense canal qui va de Liverpool à Leeds dans le Yorkshire. La première écluse se trouve entre Leigh et Wigan, à environ 2 300 mètres au delà de Leigh.

En réunissant ces trois branches, on voit qu'on a :

	milles.	lieues.
De Worsley à Leigh.	6 »	2.41
De Worsley à Runcorn (voir p. 198). . .	29 3/4	12.00
De Water meeting à Manchester. . . .	3 »	1.20
Ensemble.	<u>38 3/4</u>	<u>15 61</u>

pour le développement total du canal du duc de Bridgewater (22).

Écluses. — « Le duc, disait Whitworth (23), en 1766, » avait pris la ferme résolution de suivre un même niveau » malgré toutes les difficultés qui pourraient se présenter; » et il l'admire d'avoir tenu parole pour la portion alors achevée jusqu'à Manchester. Qu'aurait-il dit, s'il eût vu le canal complètement terminé? Sur aucun point de son développement il n'y a d'écluse, sur aucun point il n'y a de souterrain. Seulement, en arrivant à Runcorn, on descend à la Mersey par sept écluses accolées, dont trois doubles, ce qui fait dix écluses, qui ont chacune 24 mètres de longueur sur 4^m.6 entre les bajoyers. En y comprenant les bassins qui sont au bas, ces dix écluses n'occupent en lon-

(22) Les auteurs lui donnent généralement 40 milles (16^l.90); nous avons préféré conserver les chiffres tels qu'ils nous ont été remis. Il est possible que le mille 1/4 de différence provienne d'une petite branche qui se détache non loin de Worsley et s'étend vers les vastes marais de *Chatmoss*, pour y conduire les déblais des travaux et rendre ainsi progressivement ces marais à l'agriculture.

(23) Cité par Philipps, *Histoire de la navigation intérieure*, t. I, p. 119 de la traduction de J. Cordier, in-8. Paris, 1819.

gueur qu'un espace de 546 mètres (600 yards). Vers le haut de la colline sur le penchant de laquelle Runcorn est bâtie, un grand réservoir fournit les éclusées nécessaires pour faire descendre et monter les bateaux sans trop épuiser les eaux du canal (24).

Si l'on considère :

1° Que la branche ouest se prolonge, sans écluse, jusqu'à	mèt.
2 300 mètres au delà de Leigh, ci.	2 300
2° Que le canal du duc de Bridgewater a, au moins,	
38 3/4 milles, ou.	62 349
3° Que le grand Trunk a, sur le même niveau, et jusqu'à	
sa première écluse à Middlewich, 18 milles.	28 962
4° Que le tunnel navigable des mines de Worsley a envi-	
ron 18 milles, ou.	28 962
On aura.	<u>122 573</u>

C'est-à-dire un niveau d'eau de plus de 30 lieues et demie. D'après une fort belle carte, publiée par William Johnson, cette immense ligne d'eau serait à 28^m.45 (93 pieds 4 pouces) au-dessus des basses eaux à Liverpool.

Bateaux du canal. — 500 bateaux font le service entre Worsley, Manchester et Liverpool. Ces bateaux sont de plusieurs forces et de constructions diverses.

Flat. — Le *flat* est un bateau à quille qui porte 30 tonnes de charbon et seulement 20 tonnes de coke, à cause du plus grand volume qu'occupe celui-ci. M. Smith nous a montré, en chantier, un flat de 60 tonnes, mais il ne peut pas figurer dans nos calculs. En comptant les frais de construction et d'entretien, en tenant compte de la durée probable d'un pareil bateau, et comprenant sans doute aussi les frais de la branche d'administration spécialement chargée des transports (*carrying department*), on part de cette base qu'un *flat* coûte, par an, 100 livres (2 500 fr.); on peut, si on le veut, considérer ce prix

(24) *Force commerciale de la Grande-Bretagne*, par Ch. Dupin, t. I, p. 177, in-4. Paris, 1826.

comme celui d'une location fictive qu'une des branches de cette administration ferait à l'autre. On admet trois cent douze jours de travail, ce qui donne par jour :

	sh.	fr.
Pour le bateau.	6.5	8.02
On compte pour l'équipage (<i>crew</i>).	8.6	10.625
Pour deux chevaux et un conducteur (25) (<i>driver</i>).	9.0	11.25

Pour chargement et déchargement, on donne par tonne :

	d.	fr.
Pour le charbon.	4 1/2	0.47
Pour le coke.	6.00	0.625

Nous allons fournir les mêmes éléments pour chaque espèce de bateau, en observant de suite que le prix pour charger et décharger reste le même.

Float.—Le *float* est un bateau plat sur lequel on transporte aisément de fortes pièces de bois. Il a 20^m.73 de long sur 4^m.42 de large. On assure qu'on peut le charger de 50 à 60 tonnes, mais son chargement habituel est de 40 tonnes.

Vide, il tire.	0 ^m .38 d'eau ;
Plein.	1 ^m .22

On le compte à 80 livres (2 000 fr.) par an ; on a donc par jour :

	sh.	fr.
Bateau.	5.2	6.41
On compte pour l'équipage d'un float.	3.00	3.75
Deux chevaux et un conducteur.	9.00	11.25

Lighter.—On donne le nom de *lighter* à un bateau à fond plat que l'on charge ordinairement de 34 tonnes. On le compte 60 livres (1 500 fr.) par an, ou par jour 3 shill. 10 d. (4 fr. 80) ; tous les autres chiffres sont les mêmes que pour le *float*.

Narrow boat.—Le *narrow boat* est un bateau à quille, et c'est sans doute sur sa forme qu'a été prise celle des pe-

	sh.	fr.
(25) On compte par cheval.	3 1/2	4.375
par homme.	2.00	2.50

tits bateaux du même nom qui naviguent dans les galeries d'allongement aboutissant au tunnel navigable ; de là la similitude de nom. Le narrow boat du canal du duc de Bridgewater porte 14 à 20 tonnes ; sa charge habituelle est de 18 tonnes. On le compte à 30 livres (750 fr.) par an, ce qui donne par jour :

	fr.
Bateau.	2.40
On compte pour l'équipage.	3.75
Un cheval et un conducteur.	6.875

Trois M. boats. — Indépendamment de ces quatre genres de bateaux, les *M. boats* qui sortent tout chargés du tunnel navigable sont accouplés trois à trois, et ces groupes, tirés par deux chevaux, vont au loin porter, sans transbordement, le charbon dont le mineur même, pour ainsi dire, les a remplis. Indépendamment des *M. boats* qui font le service du travail souterrain, il y a, sur le canal du duc de Bridgewater, 190 *M. boats* constamment occupés.

On compte par *M. boat* 25 livres (625 fr.) par an, ce qui, pour un groupe de 3 *M. boats*, et pour un chargement de 30 tonnes, donne 75 livres (1 875 fr.) par an. On a donc par jour :

	fr.
Trois <i>M. Boats</i>	5.99
Un homme.	2.50
Deux chevaux et un conducteur (26).	10.625

Ici, *pour le charbon*, il n'y a que le déchargement à compter, puisque les *M. boats* sont livrés tout chargés, et l'on compte par tonne :

	fr.
Chargement et déchargement du coke.	0.625
Déchargement du charbon.	0.234

Éléments du calcul des prix du transport. — Telles sont les bases qui servent à établir les prix des transports,

(26) Au conducteur des deux chevaux des trois *M. boats* on ne donne que 1 schilling 1/2 ou 1 fr. 875.

mais elles reçoivent une modification. On augmente tous ces éléments de $\frac{1}{3}$ pour faire face aux dépenses imprévues (*casualties*). Ainsi, prenons pour exemple le *flat* qui porte 30 tonnes de charbon, et cherchons la dépense qu'occasionne par jour le transport d'une tonne de charbon au moyen de ce genre de bateau. Nous avons vu (page 202) que le bateau et l'équipage coûtent ensemble :

Par jour.	fr.	
Dont $\frac{1}{3}$ est.	18 645	
	6.215	
Ensemble.	24 86	
Qui, divisés par 30, donnent pour le transport du charbon par tonne et par jour.	fr.	0.829
Les chevaux et leur conducteur coûtent par jour.	fr.	
Dont un tiers est.	11.25	
	3.75	
Ensemble.	15.00	
Qui, divisés par 30, donnent pour le transport du charbon par tonne et par jour.		0.50
Enfin le chargement et le déchargement du charbon se payent par tonne.	fr.	
	0.47	
Ajoutant un tiers.	0.155	
Ensemble.	0.625	0.625
Total par jour et par tonne.		1.954

Les chiffres que nous venons d'obtenir ainsi sont ceux que nous retrouverons à la première ligne horizontale du tableau p. 208. On opérerait de la même manière pour le coke transporté par *flat*; seulement on diviserait par 20 au lieu de diviser par 30, puisqu'un *flat* ne porte que 20 tonnes de coke; et le prix de chargement et de déchargement du coke étant donné (voir page 203), on aura :

Chargement et déchargement.	fr.	
Dont le tiers est.	0.625	
	0.2083	
Le chiffre modifié sera donc.	0.8333 (8 pence).	

En opérant ainsi pour chaque espèce de bateau, et pour chacune des deux substances dont nous nous occupons, le charbon et le coke, on peut former le tableau suivant :

Transports par tonne et par jour (a).

DÉSIGNATION.	FLAT.		FLOAT.		LIGHTER.		NARROW BOAT.		3 M. BOATS.	
	Charbon, 30 tonnes.	Coke, 20 tonnes.	Charbon, 40 tonnes.	Coke, 40 tonnes.	Charbon, 34 tonnes.	Coke, 20 tonnes.	Charbon, 18 tonnes.	Coke, 12 tonnes.	Charbon, 30 tonnes.	Coke, 20 tonnes.
Bateau et équipage. . .	fr. . . 0.829	1.243	fr. . . 0.339	0.339	fr. . . 0.335	0.57	fr. . . 0.4555	0.683	fr. . . 0.3773	0.566
Chevaux et conducteur. .	0.50	0.75	0.375	0.375	0.411	0.75	0.509	0.7838	0.4722	0.7083
Chargement et déchargement.	0.625	0.835	0.625	0.625	0.625	0.833	0.625	0.833	0.3125(c)	0.833

(a) Il est presque inutile de prévenir que le mot *par jour* ne s'applique pas à la ligne *chargement et déchargement*.

(b) Pour Liverpool on ne charge que 30 tonnes de coke, on a alors :

Bateau et équipage. 0fr.4517

Chevaux et conducteur. 0 50

(c) Pour les M. boats, il n'y a lieu à compter que le déchargement.

Passage dans un autre canal.—Lorsque les bateaux doivent passer du port de Banktop (à Manchester) dans les écluses du canal Rochdale, on les hale dans ces écluses, et, à la journée des chevaux et de leur conducteur, on ajoute 0^{fr}.208 par tonne pour ce halage.

Remorquage sur la Mersey.—Deux espèces de bateaux poursuivent seuls leur route jusqu'à Liverpool, ce sont les *flats* et les *floats*. Quand ils ont franchi les écluses de Runcorn, des remorqueurs à vapeur (*steam towage*) les mènent jusqu'à Liverpool. On paye 7 $\frac{1}{2}$ shillings (9^{fr}.36) par convoi (*cargo*). Ce remorquage coûte 0^{fr}.026 par tonne de charbon, et 0^{fr}.052 par tonne de coke. Un calcul très-simple montre qu'un remorqueur entraîne :

- 12 *flats* chargés de charbon,
- 9 — chargés de coke,
- 9 *floats* chargés de charbon,
- 6 — chargés de coke (voir la note b page 205).

Transbordement.—Tous les autres bateaux sont transbordés à Runcorn. On paye pour ce transbordement :

- Par tonne de charbon 3 pence (0^{fr}.3125).
- Par tonne de coke 4 pence (0^{fr}.417).

Non-seulement les M. boats ne naviguent pas sur la Mersey, mais ils ne vont pas même dans les autres canaux, comme les lighters et les narrow boats. Ils subissent un transbordement à Castle-quay, l'un des deux ports que possède, à Manchester, le canal du duc de Bridgewater.

Prix de transport.—On comprend maintenant comment, avec tous ces éléments et au moyen du tableau qui précède, nous pouvons parvenir à calculer le *prix de transport* d'une tonne de charbon ou de coke depuis Worsley jusqu'à tel ou tel point du canal, et jusqu'à Liverpool. Il suffit, pour cela, d'y ajouter la connaissance du nombre de jours que l'on accorde au patron (*steerer*) pour se rendre

en un point donné, y opérer son déchargement et revenir. Ces nombres de jours pour *aller et retour* (27) nous sont donnés par les deux premières colonnes verticales du tableau suivant, et tous les chiffres de ce tableau en sont la conséquence :

(27) Pour ramener le bateau à vide il y a à tenir compte :

Du bateau et de son équipage ,

Des chevaux et de leur conducteur.

(Voir le tableau page 208).

Dépense occasionnée par le transport d'une tonne de charbon et de coke par différents bateaux ('), de Worsley aux divers dépôts établis sur la ligne de navigation des tuteurs du dernier duc de Bridgewater.

CHARBON.	Nombre de jours pour chargement, transport et déchargement.	Temps accordé pour rallier les bateaux vides à Worsley.	Distances en kilomètres.	FLAT. — 30 TONNES.						FLOAT. — 40 TONNES.					
				Bateau et équipage.	Chevaux et conducteur.	Chargement et déchargement.	Retour du bateau vide.	TOTAL		Bateau et équipage.	Chevaux et conducteur.	Chargement et déchargement.	Retour du bateau vide.	TOTAL	
				par tonne.	fr.	par tonne.	fr.	par tonne.	fr.	par tonne.	fr.	par tonne.	fr.	par tonne.	fr.
Castle-quay. . .	1		12.88	0.83	0.50	9.62	•	1.95	1.95	0.34	0.36	0.62	•	1.33	1.32
Banktop. . .	3	(a)	12.88	2.50	0.71	0.62	•	3.83	1.95	1.02	0.57	0.62	•	2.21	1.32
Stretford. . .	1		•	0.83	0.50	0.62	•	1.95	•	0.34	0.36	0.62	•	1.33	•
Broadheath. . .	1		14.89	0.83	0.50	0.62	•	1.95	1.95	0.34	0.36	0.62	•	1.33	1.32
Burford-lane	1 1/4	1/2	24.53	1.04	0.62	0.62	0.65	2.94	2.94	0.42	0.44	0.62	0.34	1.82	1.74
Stockton-quay.	2 1/4	3/4	32.59	1.22	0.73	0.62	0.99	3.56	3.56	0.49	0.55	0.62	0.52	1.19	2.19
Preston-brook.	1 3/4	1	39.82	1.46	0.86	0.62	1.30	4.24	4.24	0.60	0.65	0.62	0.70	2.58	2.58
Runcorn. . .	2	1 1/4	47.87	1.67	0.99	0.62	1.61	4.89	4.89	0.68	0.73	0.62	0.88	2.92	2.92
Liverpool. . .	2 1/2	1 1/2	68.59	2.08	1.28	0.62	1.98	5.96	5.96	0.86	0.96	0.62	1.07	3.52	3.52
COKE.				FLAT. — 20 TONNES.						FLOAT. — 30 TONNES POUR LIVERPOOL.					
Castle-quay. . .	1		12.88	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Banktop. . .	3	(a)	12.88	1.25	0.75	0.83	•	2.84	2.83	0.34	0.36	0.83	•	1.54	1.54
Stretford. . .	1		•	3.70	0.96	0.83	•	5.49	2.83	1.01	0.57	0.83	•	2.42	1.54
Broadheath. . .	1		14.89	1.25	0.75	0.83	•	2.84	2.83	0.34	0.36	0.83	•	1.54	1.54
Burford-lane.	1 1/4	1/2	24.53	1.56	0.91	0.83	0.96	4.30	4.30	0.42	0.44	0.83	0.34	2.03	2.03
Stockton-quay.	2 1/4	3/4	32.59	1.88	1.09	0.83	1.48	5.28	5.28	0.49	0.55	0.83	0.52	2.39	2.39
Preston-brook.	1 3/4	1	39.82	2.19	1.30	0.83	1.68	6.30	6.30	0.60	0.65	0.83	0.70	2.78	2.78
Runcorn. . .	2	1 1/4	47.87	2.50	1.51	0.83	1.98	7.31	7.31	0.68	0.73	0.83	0.88	3.12	3.12
Liverpool. . .	2 1/2	1 1/2	68.59	3.12	1.93	0.83	2.49	8.65	8.65	1.12	1.07	0.83	1.07	4.68	4.68

(a) Les distances sont les plus directes et les plus faibles. Les temps accordés pour charger, transporter et décharger.

Ainsi les prix de transport varient par kilomètre :

Pour le charbon, dans le rapport de. 1 à 3

Pour le coke, dans le rapport de. 1 à 3.375

Si, maintenant, nous voulons savoir dans quelle proportion les différents frais entrent dans les prix précédents, nous aurons :

INDICATION des causes de dépenses.	TRANSPORT, par kilomètre, d'UNE TONNE			
	de charbon.		de coke.	
	Minimum.	Maximum.	Minimum.	Maximum.
	fr.	fr.	fr.	fr.
Bateau et équipage.	0.0124	0.0653	0.0141	0.0967
Chevaux et conducteur. . . .	0.0140	0.0390	0.0151	0.0586
Retour du bateau vide. . . .	0.0155	"	0.0184	"
Chargement et déchargement.	0.0091	0.0487	0.0174	0.0647
	0.051	0.153	0.065	0.22

Chiffres d'après lesquels on peut admettre que les *frais de halage* varient de 0^r.03 à 0^r.04 par tonne de charbon et par kilomètre, et de 0^r.035 à 0^r.06 par tonne de coke et par kilomètre.

Services rendus par le canal. — Si des 68 784 mètres qui séparent Worsley et Liverpool, nous retranchons les 7 872 mètres qui séparent Worsley et Water meeting, et que nous ajoutons les 5000 mètres que nous avons indiqués page 200 entre ce dernier point et Manchester, nous aurons 65 912 mètres (près de 41 milles) (28) pour la distance qui existe, *par le canal et la Mersey*, entre Manchester et Liverpool. Or il résulte des tableaux précédents que le prix du transport le plus élevé sur Liverpool est celui du transport qui s'exé-

(28) Le chemin de fer de Liverpool à Manchester, qui est presque en ligne droite, a 31 milles (49 879^m.00); il a, par conséquent, 4 lieues de moins que la ligne d'eau. Ce railway sort de Liverpool par un plan incliné à machines fixes qui a 1 mille 1/4 de développement (2 000^m.00).

cute *par flats*, et que ce prix est de 0^{fr.}.087 par tonne et par kilomètre. Pour 65^{kilom.}.912, nous aurons donc, pour le prix du transport d'une tonne entre Manchester et Liverpool,

<i>Par le canal du duc de Bridgewater.</i>	fr. 5.73	(29)
Les transports qui s'exécutaient autrefois <i>par terre</i> entre ces deux villes se payaient, par tonne, 40 shillings, ou. . .	50.00	
Et quand <i>l'Irwell et la Mersey</i> furent canalisés, ces prix ne descendirent qu'à 12 shillings, ou.	15.00	(30)

On peut juger par là des immenses services que le canal du duc de Bridgewater a rendus au commerce, et l'on s'explique la vigoureuse impulsion qu'il a donnée à la canalisation de l'Angleterre.

Transports par voitures. — Nous avons vu que le transport de Worsley aux deux ports que possède le canal à Manchester, varie de 1^{fr.}.308 à 1^{fr.}.954 par tonne. On comprend difficilement qu'il se fasse encore des transports par terre entre ces deux points. Le fait a lieu cependant. On donne par tonne :

	fr. 0.104	fr. 0.104
Pour le chargement dans les voitures, 1 penny.	3.23	à 4.17
Et pour le transport, 2 sh. 7 d. à 3 sh. 4 d.		
Ensemble.	3.334	à 4.274

C'est-à-dire des prix qui sont, avec ceux du transport par le canal, dans les rapports de 2.549 et de 2.187 à 1.

Du reste, c'est l'administration elle-même qui exécute ces transports, et l'on conçoit qu'à de pareils prix, toute idée de concurrence doit être écartée, indépendamment même de l'impossibilité où seraient les voitures du Lancashire de faire une concurrence quelconque à lord Egerton (31).

(29) Au tarif de 2 et 3 pence par tonne et par mille, selon les marchandises, moyennement 2 1/2 pence, le chemin de fer transporte les marchandises pour 7^{fr.}.80.

(30) Dutens, *Mémoires sur les travaux publics d'Angleterre*, p. 7, in-4, 1819. — Huerné de Pommeuse, *des Canaux navigables*, p. 7, in-4, 1812.

(31) L'explication la plus raisonnable de cette rivalité apparente, c'est que quand les charbons doivent être transportés dans la ville en des points éloignés du port de Castle-quay, il y a plus d'avantage à ne pas les décharger sur le port pour ne pas les recharger dans des voitures. On les transporte directement de la mine à leur destination.

N° 73.

NOTE

*Sur les pertes qu'occasionnent les fortes déclivités
des routes et leurs tracés vicieux ;*

Par M. COMMIER, Ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Nous avons toujours été frappé de la dissidence d'opinion qui a presque généralement lieu, au sujet du tracé des routes, entre les ingénieurs des ponts et chaussées et des personnes à qui l'on ne pourrait refuser, sans injustice, l'intention formelle d'être vraiment utiles au pays.

Cette dissidence, réellement fâcheuse, ne tiendrait-elle pas, en grande partie du moins, à ce que ces personnes (qu'on nous pardonne cette observation) n'ont pas une notion exacte des conditions que le tracé des routes doit remplir et des pertes énormes auxquelles donnent lieu les mauvais tracés ?

L'on conçoit qu'il existe plusieurs manières d'aller d'un point à un autre ; mais parmi ces différentes directions, une seule est la plus avantageuse..... La science de l'ingénieur consiste à en approcher le plus possible.

Bien des personnes ne croient pas aux règles de l'art (1), et cependant, pour être convaincu de leur réalité, il ne

(1) C'est pour cette raison sans doute que, dans plus d'un département, l'on est tout disposé à croire que quelques notions de géométrie élémentaire, d'ailleurs très-incomplètes et fort élémentaires, suffisent et au delà pour improviser, nous ne dirons pas des ingénieurs, mais des traceurs de routes, qui peuvent les remplacer avec d'autant plus d'avantages qu'ils savent profiter des conseils que veulent bien leur donner, dans le seul intérêt public, les personnes intéressées à l'exécution de ces communications ; tandis que les ingénieurs ont le tort de penser qu'avant tout, il est de leur devoir d'examiner si, par hasard, il n'y aurait pas une autre direction plus avantageuse que celle qu'on leur

faut qu'observer les différences énormes qui existent entre les pays traversés par de bonnes routes, et ceux dont les routes sont mal tracées.

Il est telle communication qui contribue puissamment à la prospérité d'un pays; mais aussi il en existe qui, malheureusement, loin d'être utiles aux localités qu'elles traversent, expliquent parfaitement l'état de souffrance dans lequel se trouvent ces localités..... Ces routes repoussent le roulage au lieu de l'attirer; il n'en faut pas davantage.....

De bonnes routes diminuent les frais de transport et par conséquent le prix de revient des produits. Elles permettent donc au producteur de livrer ses produits à meilleur marché et par conséquent mettent ces produits à la portée d'un plus grand nombre de consommateurs: elles augmentent ainsi la consommation et par conséquent la production..... De mauvaises routes, au contraire, augmentent les frais de transport, augmentent les prix de revient, diminuent par conséquent la consommation et par suite la production..... De mauvaises routes sont la ruine du pays..... C'est avec raison que J.-B. Say fait observer qu'un pays n'est civilisé qu'à proportion des moyens de communication qu'on y trouve.

indique..... En pareil cas, l'on dit que les ingénieurs sont trop indépendants ou qu'ils ne connaissent pas les besoins du pays.

En général, l'on n'a qu'une idée très-fausse de l'influence des voies de communication sur la prospérité du pays Aussi, combien d'erreurs à ce sujet et qui proviennent ou de l'intérêt particulier qui se déguise sous mille formes, ou de l'ignorance des vrais principes de l'économie politique, qui malheureusement ne sont pas assez répandus!.... Un petit ouvrage qui aurait pour but de détruire toutes ces erreurs, de les remplacer par des notions exactes qu'il importe de propager, serait fort utile selon nous..... Qu'on ne s'y trompe pas: ce sujet, plus vaste qu'on ne pense, est d'un grand intérêt, puisqu'il se rattache à la prospérité du pays; mais pour être traité d'une manière convenable, il exige plus que l'intention d'être utile: nous nous bornerons par conséquent à indiquer le but que cet ouvrage devrait atteindre..... Un mauvais peintre peut trouver le sujet d'un excellent tableau; mais il doit laisser aux maîtres de l'art le soin de le mettre à exécution.

L'on se propose, dans la présente note, de donner une idée des pertes qui résultent de l'emploi des pentes fortes et de celles qu'occasionnent nécessairement de mauvais tracés. Nous n'avons pas malheureusement à notre disposition les renseignements nécessaires pour évaluer la perte totale pour toutes les routes de France ; mais ce que nous dirons à ce sujet suffira, nous l'espérons du moins, pour prouver que dans le véritable intérêt, dans l'intérêt bien compris du pays tout entier, il n'est peut-être pas de travaux plus urgents, ni plus réellement productifs que ceux nécessaires pour rectifier et compléter le vaste système des voies de communication, quelles que soient leurs dénominations, de manière à satisfaire aux nombreux besoins de tous les genres d'industrie.

Depuis quelques années surtout, l'entretien des routes s'est beaucoup perfectionné et il en résulte de grands avantages dont nous sommes loin de chercher à diminuer toute l'importance ; mais ce n'est pas dans l'entretien que résident les grandes améliorations dont les routes sont susceptibles : il ne faut pas se le dissimuler, le mal est beaucoup plus grave, il existe tout entier dans les pentes fortes et dans les mauvaises directions..... L'on aura beau parfaitement entretenir des routes défectueuses, elles n'en seront pas moins la cause de pertes vraiment énormes dont il faut chercher à dégréver le consommateur ; car, en dernière analyse, c'est sur lui que retombe tout entier le poids de cette espèce d'impôt auquel jusqu'ici l'on n'a pas fait assez d'attention, dont bien des personnes, s'il faut le dire, ne soupçonnent même pas, nous dirions presque l'existence et surtout la valeur.

Et quand nous disons impôt, nous sommes loin d'exprimer toute notre pensée : car l'impôt rentre au trésor, et pourvu qu'il soit sagement réparti entre tous les services, il n'est en réalité qu'une des causes, et la plus active peut-être, de la prospérité publique ; tandis que les pertes

sur lesquelles nous désirons fixer l'attention, sont une destruction complète d'une partie notable des forces dont se compose la richesse nationale (2).

Dans les pays de montagnes, l'on voyage beaucoup à cheval, et l'on ne fait pas attention que la route la plus avantageuse pour le cavalier diffère essentiellement de celle pour le roulage : en plaine, ces deux routes se confondent et ne font qu'une seule et même ligne droite ; mais en pays de montagnes, elles sont très-distinctes : des déclivités de 6 et 8 pour 100 ne sont pas trop fortes pour le cavalier, et nous verrons bientôt que, pour le roulage, la déclivité la plus avantageuse est celle de 0^m.038 par mètre.

Dès que les chevaux quittent le trot, les voyageurs qui courent la poste ou qui sont en diligence crient contre le postillon : ils ne voient pas que ce n'est point la faute des chevaux, mais celle de la route qui a des déclivités trop fortes.

Les voyageurs, en général, n'apprécient pas exacte-

(2) Nous ferons remarquer que sur les routes en pays de montagnes, on ne juge pas toujours exactement des déclivités : Par exemple, si l'on monte une côte, ayant le coteau à gauche et qu'après un détour assez prononcé sur la gauche, la route se déploie, toujours en montant, dans une gorge profonde, la rampe paraîtra beaucoup plus douce qu'elle n'est réellement. Après avoir traversé le ravin qui occupe le milieu de la gorge, on a le ravin à droite et le coteau toujours à gauche. Dans cette position la rampe paraîtra plus forte qu'elle n'est en réalité, surtout si la partie à la suite se détache sur le ciel. Ce double effet tient à une même cause : Peu habitué à la montagne, accoutumé à voir des rivières presque entièrement de niveau, l'on ne suppose jamais la déclivité du ravin aussi forte qu'elle l'est ; par conséquent en entrant dans la gorge, on abaisse malgré soi le ravin en amont et par suite la route ; lorsqu'on a traversé le ravin, on le relève en aval et l'on est disposé à trouver plus forte la rampe de la route... Il faut un coup d'œil exercé pour n'être pas dupe de cette illusion qui fait croire aux voyageurs que la déclivité n'est pas régulière.

A ce sujet, nous citerons ce qui est arrivé à M. Don, ingénieur à Alger, qui a été conduit à donner une déclivité de 0^m.02 par mètre à des lignes architectoniques, afin qu'on les prit pour des lignes parfaitement horizontales ; et tout le monde s'y trompe, même quand on est prévenu.

ment les déclivités : quant aux vices de tracé, il en est de si apparents, que tout le monde peut les reconnaître de suite; mais souvent aussi, il faut un coup d'œil bien exercé, d'autant plus que, dans un tracé défectueux, il peut se rencontrer de très-longues parties parfaitement traitées.

Pour bien juger un tracé, il faut les mêmes études que pour arrêter la direction générale, c'est-à-dire qu'il faut connaître les localités, saisir l'ensemble, la configuration, le mamelonné du pays, si l'on peut s'exprimer ainsi; il faut connaître les hauteurs respectives des différents cols ou dépressions des faîtes..... Et à ce sujet, remarquons qu'un bon tracé ne s'improvise pas : aussi nous ne craindrons pas d'avancer qu'en pays accidenté, il existe peu de routes, d'une certaine étendue, qui soient sans défauts : et pour donner une idée des difficultés que présente le tracé des routes, des études qu'il exige, nous dirons qu'une route en pays de montagnes peut, sous beaucoup de rapports, être considérée comme un canal à plusieurs points de partage.

Cette comparaison paraîtra sans doute beaucoup trop ambitieuse; elle a du moins l'avantage de faire comprendre de suite qu'il ne faut jamais monter inutilement pour descendre; qu'il faut toujours passer aux cols les moins élevés; qu'il faut chercher à diminuer le nombre de points de partage : en un mot, que le tracé le plus avantageux, toutes choses égales d'ailleurs, sera celui par lequel la somme des montées et des descentes sera un minimum.

Telles ne sont pas, à beaucoup près, les routes de France et surtout celles en pays de montagnes : ces dernières sont formées, pour la plupart, des anciens chemins suivis par les mulets qui seuls, autrefois, effectuaient les transports dans ces contrées difficiles; l'on conçoit que ces routes doivent présenter de fortes déclivités, des montées et des descentes inutiles qui nuisent essentiellement au roulage :

dans l'origine, ces routes répondaient aux besoins du pays ; mais depuis, ces besoins ont changé complètement : est-il étonnant, d'après cela, que ces anciennes routes ne puissent plus suffire ?.... Aujourd'hui, il faut nécessairement créer la route du roulage partout où elle n'existe pas.... C'est à ce prix que les pays montagneux pourront participer à cette marche progressive, caractère distinctif de notre époque.

Il est d'ailleurs à observer que ces importantes rectifications ne sont pas seulement dans l'intérêt des départements montagneux ; elles seront en effet encore plus utiles pour les relations commerciales du nord au midi, de l'est à l'ouest, relations qu'il importe de favoriser, dans l'intérêt général de toute la France.

Pour bien faire comprendre la nécessité de créer la route du roulage partout où elle n'existe pas, de faire disparaître les difficultés qu'il rencontre, même dans les pays peu accidentés, rien de mieux, selon nous, que d'évaluer les pertes qu'occasionnent les routes actuelles, et de les comparer aux dépenses qu'exigent les nouvelles directions : par ce moyen, l'on reconnaîtra si ces travaux sont avantageux.

Les routes donnent lieu à plusieurs natures de dépenses qu'il importe beaucoup de réduire au minimum.

Pour les dépenses d'ouverture, on parviendra à les diminuer en donnant aux routes le caractère qui leur convient. Qu'aux abords d'une ville, les routes présentent une grande largeur, cela se conçoit par suite du grand nombre de voyageurs et de voitures qui y passent au même moment : il faut nécessairement éviter l'encombrement ; mais à mesure qu'on s'éloigne des villes, la largeur des routes doit diminuer ; il suffit que deux grosses voitures de roulier puissent facilement se croiser, et qu'en même temps le piéton puisse toujours passer facilement. Il pourrait même arriver qu'on dût se borner à faire passer une seule grosse voiture, sauf

à pratiquer, de distance en distance, des gares où se ramiseraient momentanément les voitures marchant en sens contraire : cela dépend du tonnage, c'est-à-dire de la fréquentation de la route, du prix d'ouverture par mètre courant et des fonds dont on peut disposer.

Dans les pays de montagnes, où la route se trouve souvent comme suspendue au-dessus de précipices qui effrayent le voyageur, il faut qu'elle soit disposée de manière à éviter tout danger ; d'un autre côté, comme la dépense par mètre courant augmente à mesure qu'on s'enfonce dans le flanc de la montagne, l'on conçoit qu'il importe de ne donner à la route que la largeur strictement nécessaire : dans ce cas, nous pensons que la chaussée doit se rapprocher de la montagne et ne plus occuper le milieu de la route : un seul trottoir, du côté du précipice, suffira pour le piéton, et un garde-fou solide préviendra tout accident. Quant aux travaux d'art, l'on doit éviter avec soin tout luxe d'appareil, employer les matériaux qu'on trouve à proximité, pourvu qu'ils soient de bonne qualité. En un mot, les travaux d'art doivent offrir à la fois solidité et simplicité.

Après l'exécution des routes vient l'entretien. Le seul moyen de diminuer la dépense relative à cet objet est de faire toutes celles nécessaires pour prévenir les dégradations, pour empêcher que le capital routier, si l'on peut s'exprimer ainsi, ne soit diminué. La science de l'entretien consiste en quelque sorte à faire disparaître toutes les causes de dégradation, et par conséquent, à donner aux eaux un prompt écoulement. Son seul but est d'obtenir, au moyen de la plus faible dépense, une viabilité parfaite. Les cantonniers seront assez nombreux ; la surveillance, fortement organisée, doit être instructive, intelligente, minutieuse, active, sévère, mais juste et encourageante..... Depuis quelques années surtout, l'entretien a fait de grands progrès..... Il y a, selon nous, deux conditions essentielles à remplir pour lui en faire faire de

nouveaux : 1° que l'ingénieur voie , examine , observe par lui-même et non par les conducteurs sous ses ordres ; 2° qu'il soit convaincu que l'entretien des routes est la partie la plus essentielle du service qui lui est confié.

Si considérables que soient les dépenses relatives à l'ouverture et à l'entretien des routes , celles-ci donnent lieu à d'autres dépenses bien plus considérables encore ; nous voulons parler des frais de transport qu'il importe beaucoup de diminuer , de réduire , s'il est possible , au minimum. En effet , nous l'avons déjà dit , toute dépense au delà de ce que devraient être les frais de transport est une perte réelle , une destruction complète de valeurs , sans compensation , et qui , en définitive , retombe sur le consommateur..... Aujourd'hui , l'on peut dire que l'art de l'ingénieur consiste à diminuer les frais de transport : tel est le but qu'il doit constamment se proposer.

Sous ce rapport , M. l'inspecteur Favier a fait faire un pas immense à la science et a rendu un véritable service au pays tout entier , en mettant les ingénieurs à même de pouvoir facilement comparer deux directions ayant le même objet , reconnaître celle qui est la plus avantageuse , et calculer l'économie qui doit en résulter. Avant lui , avant qu'il eût publié les tables qui accompagnent son *Essai sur les lois du mouvement de traction* , les ingénieurs manquaient , il faut l'avouer , d'une règle fixe pour comparer deux directions. A la vue des profils en long , à l'inspection des pentes , au montant des dépenses d'exécution , ils jugeaient par aperçu et presque par sentiment ; maintenant il ne peut plus y avoir de doutes , et la comparaison de deux routes n'est plus qu'une question de chiffres que tout le monde peut décider.

M. Favier a eu l'heureuse idée de transformer les rampes et pentes en lignes horizontales équivalentes , c'est-à-dire , telles que , pour être parcourues , elles exigent , en raison de leurs longueurs , la même dépense de force

vive que ces rampes et pentes, qu'elles peuvent par conséquent remplacer, pour ce qui a rapport aux frais de transport.

Sans les tables dont il s'agit, il nous serait impossible d'évaluer les pertes qui résultent des pentes fortes ou qu'occasionnent les tracés vicieux.

Avant d'examiner la première question, cherchons à déterminer la perte à laquelle donne lieu un allongement inutile d'un mètre de longueur, sur une route parfaitement horizontale.

D'après les prix élémentaires qui entrent dans la composition des prix de transport, celui d'une tonne (1000 kilogrammes) à 1000 mètres de distance; sur une route parfaitement horizontale, revient à 0^{fr}.20. Donc, le transport d'une tonne, à 1 mètre de distance horizontale, coûte 0^{fr}.0002; donc, le transport de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 120, 150..... n mille tonnes à 1 mètre, sur une route horizontale, revient à

1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 24, 30 fr..... 0^{fr}.20 n .

Telle est l'avance du négociant pour le transport seulement; mais il faut que le consommateur rembourse le négociant, qui a soin d'ajouter son bénéfice et l'intérêt de son argent: ce n'est certainement pas trop que de compter pour ces deux objets 10 pour 100. Il en résulte, en supposant que la marchandise passe directement du magasin du négociant dans les mains du consommateur, que celui-ci aura à déboursier, pour le tonnage déjà indiqué ci-dessus, pour chaque mètre de distance horizontale parcourue, une somme de

1^{fr}.10, 2^{fr}.20, 3^{fr}.30, 4^{fr}.40, 5^{fr}.50, 6^{fr}.60, 8^{fr}.80,
11^{fr}, 13^{fr}.20, 16^{fr}.50, 22^{fr}, 26^{fr}.40, 33^{fr}..... 0^{fr}.22 n .

Telle est par conséquent la perte qu'éprouve le consommateur, pour chaque mètre horizontal de trop que l'on ferait parcourir aux objets de consommation, et cette perte

augmenterait d'un dixième au moins, s'il se trouvait un intermédiaire entre le négociant en gros et le consommateur, ce qui arrive presque toujours. Nous admettrons cependant la première hypothèse, quand ce ne serait que pour empêcher de croire que nos évaluations sont trop fortes.

Il résulte de ce qui précède que si, pour épargner certaines propriétés, pour passer par un village qu'on aurait dû éviter, on allonge inutilement de 2000 mètres seulement, en longueur horizontale, une route sur laquelle il passe, chaque année, 50 mille tonnes, par exemple; il en résulte, disons-nous, que la perte annuelle, qui retomberait sur le consommateur, serait de 22 000 francs, qui correspond à un capital de 440 000 francs..... Si, au lieu de 2000 mètres, en distance horizontale, l'allongement était de 20 000 mètres, il en résulterait pour le consommateur une perte annuelle de 220 000 francs, qui représente un capital de 4 400 000 francs.

Ainsi, pour ce qui concerne les longueurs horizontales, augmenter inutilement de 1 mètre une route sur laquelle il passe 30 mille tonnes par an, c'est détruire annuellement 6^{fr}.60; pour une circulation de 50 mille tonnes, 11 fr.; pour une circulation de 150 mille tonnes, 33 fr.; et cette perte retombe tout entière sur le consommateur, et cette perte est une destruction de valeur.....

Nous pouvons citer un département, le Cantal, dont les routes actuelles, que l'on peut considérer comme étant parcourues par une charge moyenne de 30 mille tonnes, allongent inutilement de 422 456 mètres, en distance horizontale..... La perte annuelle qu'elles occasionnent au consommateur est donc de 2 788 209^{fr}.60!.....

Que les quatre-vingt-six départements dont se compose la France représentent, sous ce rapport, quinze départements comme le Cantal (et puisse ce nombre n'être pas trop faible!), voilà une perte annuelle, un anéantis-

ment complet de plus de 40 millions !..... Un capital de 800 millions anéanti par suite de l'état des routes royales seulement !..... L'on conviendra que la question n'est pas sans importance.....

Voyons maintenant ce qui arrive lorsqu'il s'agit de franchir une hauteur déterminée entre deux points fixes, situés sur le même coteau ; et cherchons quelle peut être la perte suivant la déclivité plus ou moins forte qu'on aura suivie.

L'on conçoit qu'il suffit d'examiner ce qui a lieu pour franchir 1 mètre de hauteur ; connaissant la perte occasionnée sur 1 mètre de hauteur, par une déclivité quelconque, il suffira de la multiplier par la hauteur totale de la côte tracée suivant cette déclivité, pour avoir la perte totale correspondant à la côte dont il s'agit.

Il est évident que pour franchir 1 mètre de hauteur l'on peut employer une infinité de déclivités ; mais parmi ces différentes déclivités, il doit s'en trouver une plus avantageuse que toutes les autres : il s'agit de la déterminer, ce qui est très-facile aujourd'hui, grâce aux profondes recherches de M. l'inspecteur Favier.

Dès que cette déclivité doit être la plus avantageuse pour le transport, elle correspond nécessairement à la plus petite distance horizontale : il faut donc transformer en lignes horizontales équivalentes les longueurs des développements réels qui correspondent aux différentes déclivités. Pour cela, il suffit de multiplier le développement réel par le coefficient moyen déduit des tables de M. Favier : le produit sera la longueur horizontale équivalente au développement réel, c'est-à-dire celle qui sera parcourue avec la même dépense de force vive ; de sorte que pour gravir la côte et la descendre, sur le développement correspondant à 1 mètre de hauteur, les frais de transport seront absolument les mêmes que pour parcourir deux fois la ligne horizontale équivalente au développement réel.

D'après ce que nous venons de dire, l'on voit comment l'on a formé les quatre premières colonnes du tableau suivant : il comprend les pentes ou rampes de 5 en 5 millimètres, depuis 0^m.01 jusqu'à 0^m.15, et quelques autres intermédiaires dont nous aurons besoin dans la suite.

DÉCLIVITÉ des rampes ou pentes par mètre.	DÉVELOPPEM. réels correspon- dant à 1 ^m .00 de hauteur.	COEFFICIENTS moyens d'après les tables de M. Favier.	LONGUEURS horizontales équivalentes aux développe- ments réels.	RAPPORTS des longueurs horizontales à la plus petite de ces longueurs.	PENTES annuelles sur les frais de transport.
1	2	3	4	5	6
mèt.	mèt.		mèt.	mèt.	
0 01	100.00000	1.09746	109 74600	2.08964	1.08964
0.015	66.66667	1.19016	79.34400	1.51076	0.51076
0.02	50.00000	1.30843	65.42150	1.24567	0.24567
0.025	40.00000	1.45206	58.08240	1.10593	0.10593
0.03	33.33333	1.62352	54.11733	1.03043	0.03043
0.035	28.57143	1.84605	52.74429	1.00429	0.00429
0.037	27.02703	1.94475	52.56082	1.00079	0.00079
0.038	26.31579	1.99573	52 51921	1.00000	0.00000
0 039	25.64103	2.04838	52.52257	1.00006	0.00006
0.04	25.00000	2.10258	52.56450	1.00086	0.00086
0.045	22.22222	2.39806	53.29022	1.01468	0.01468
0.05	20.00000	2.73975	54.79500	1.04333	0.04333
0.055	18.18182	3.13751	57.04564	1.08619	0.08619
0.057	17.54386	3.13359	58.13316	1.10689	0.10689
0.06	16.66667	3.59994	59 99900	1.14242	0.14242
0.065	15.38462	4.14110	63 70925	1.21307	0.21307
0.07	14.28571	4.77805	68.25784	1.29968	0.29968
0.075	13.33333	5.52460	73.66133	1.40256	0.40256
0.076	13.15789	5.68834	74.84655	1.42513	0.42513
0.08	12.50000	6.40937	80.11713	1.52548	0.52548
0.085	11.76471	7.46357	87.80674	1.67190	0.67190
0.09	11.11111	8.72786	96.97622	1.84649	0.84649
0.094	10.63830	9.90955	105.42077	2.00728	1.00728
0.095	10.52632	10 23486	107.73541	2.05135	1.05135
0.10	10.00000	12.06473	120.64730	2.29720	1.29720
0.105	9.52381	14.2855	135.98620	2.58927	1.58927
0.11	9.09091	17.03474	154.86129	2.94866	1.94866
0.114	8.78070	19.67786	172.78539	3.28995	2.28995
0.115	8.69565	20 34786	176.93787	3.36901	2.36901
0.12	8.33333	24.65006	205.41717	3.91128	2.91128
0.125	8.00000	29.80581	238.44648	4.24018	3.24018
0.13	7.69231	36.68376	282.18285	5.37295	4.37295
0.133	7.51880	41.37786	311.11185	5 92377	4.92377
0.135	7.40741	45.32786	335 76204	6.39313	5.39313
0.14	7.14286	56 75739	405.41009	7.71927	6.71927
0.145	6.89655	70.37612	485.35243	9.24143	8.24143
0.15	6.66667	92.81649	618.77691	11.78192	10.78192

A l'inspection de la quatrième colonne de ce tableau, l'on voit que la plus petite longueur horizontale est $52^{\text{m}}.4.51921$, qui correspond à la déclivité de $0^{\text{m}}.038$ par mètre. Cette déclivité, sur une route aussi fréquentée dans un sens que dans l'autre, est donc, abstraction faite des dépenses d'ouverture et d'entretien, la plus avantageuse pour franchir la différence de niveau entre deux points (3), puisqu'elle exige les moindres frais de transport : c'est cette déclivité que M. Favier appelle déclivité normale.

Si l'on divise les longueurs portées dans la quatrième colonne par la longueur horizontale minimum, on aura pour quotients les nombres compris à la cinquième colonne ; ces nombres sont les longueurs horizontales spécifiques correspondantes à chaque pente indiquée à la première colonne, l'unité étant la longueur horizontale équivalente au développement réel qui correspond à la déclivité normale.

Ces nombres peuvent être aussi considérés sous un autre point de vue, comme les frais de transport spécifiques relatifs à chaque déclivité, l'unité étant alors les frais de transport qui correspondent à la déclivité normale.

(3) Il est bien évident que l'on suppose que la déclivité de la ligne qui réunit les deux points est plus grande que $0^{\text{m}}.038$: s'il n'y avait que $2^{\text{m}}.50$ de différence de niveau, par exemple, entre deux points éloignés de 100 mètres, la déclivité la plus avantageuse serait la déclivité naturelle uniforme de $0^{\text{m}}.025$ par mètre; mais dès que la déclivité naturelle uniforme entre deux points obligés dépasse $0^{\text{m}}.038$, il faut trouver un développement tel que la déclivité uniforme de la route à ouvrir soit de $0^{\text{m}}.038$. A ce sujet, nous ferons observer qu'on est dans l'usage, pour les grandes côtes, de briser la déclivité et d'employer la plus forte dans le bas, attendu, dit-on, que les forces s'épuisent à mesure qu'on s'élève : cette raison paraît assez plausible, surtout pour les déclivités fortes ; car le cheval n'agit pas à l'instar d'une machine à mouvement uniforme : cependant il est facile de reconnaître que la déclivité uniforme est la plus avantageuse, qu'elle correspond à la plus petite distance horizontale, par conséquent à la plus petite dépense de force vive.... (Voir l'Essai sur les lois du mouvement de traction, par M. Favier, page 62.)

Si l'on retranche cette unité de chacun des nombres de la cinquième colonne, on aura, pour différences, ceux compris à la sixième, et qui représentent évidemment les pertes auxquelles donnent lieu les déclivités correspondantes, l'unité n'étant autre chose que les frais de transport relatifs à la déclivité normale.

Ces derniers frais de transport sont faciles à évaluer, puisque, pour 1 mètre de hauteur, le développement normal est transformé en une longueur de $52^m.51921$; cette unité pour un tonnage de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 120, 150... n mille tonnes vaut donc successivement $57^fr.77$, $115^fr.54$, $173^fr.31$, $231^fr.08$, $288^fr.86$, $346^fr.63$, $462^fr.17$, $577^fr.71$, $693^fr.25$, $866^fr.57$, $1155^fr.42$, $1386^fr.51$, $1733^fr.13$ $11^fr.5542262n$.

Dès lors, il est facile d'évaluer la perte occasionnée par l'emploi d'une déclivité qui diffère de la déclivité normale.

Supposons, par exemple, que pour une côte de 50 mètres de hauteur, située sur une route à 60 mille tonnes, on ait employé une déclivité de $0^m.065$ par mètre. D'après ce qu'on vient de dire, les frais de transport pour 1 mètre de hauteur sont de $693^fr.25$, en supposant qu'on ait adopté la déclivité normale; mais, d'après le tableau ci-dessus, la perte sur les frais de transport pour la déclivité de $0^m.065$ est 0.21307 , la somme de $693^fr.25$ étant prise pour unité; la perte annuelle par mètre de hauteur est donc de $147^fr.7108$, et par conséquent de $7385^fr.54$ pour la côte entière. Cette côte de 50 mètres de hauteur, qui a $769^m.23$ de développement réel, occasionne donc tous les ans, au contribuable, une perte de $7385^fr.54$ qui représente un capital de $147\ 710^fr.80$ Or, en France, combien de côtes de 50 mètres de hauteur ayant $0^m.065$ et plus de déclivité par mètre?

Si l'on examine les nombres composant la sixième co-

bonne du tableau ci-dessus, on reconnaîtra que la perte qui correspond à la pente de $0^m.03$ est à peu près de 3 pour 100 des frais de transport minimum, et que pour $0^m.05$ de déclivité, la perte est de $4\frac{1}{2}$ pour 100; d'où l'on peut conclure que, sans de graves inconvénients, pour une route uniquement destinée au roulage, telle que les routes d'usines et les chemins vicinaux, par exemple, la déclivité la plus forte à employer dans le tracé peut varier de 3 à 5, et surtout de $0^m.035$ à $0^m.045$, et par conséquent qu'on peut adopter $0^m.045$ pour maximum; mais observons que nous parlons d'une route uniquement destinée au roulage, et non d'une route fréquentée en même temps par le roulage et par des voitures allant au trot, qui, nécessairement, exigent des déclivités plus douces que celles qu'on peut employer sans inconvénient pour les voitures pesantes.

Cette considération nous porte à croire que pour les routes qui doivent être parcourues en même temps par le roulage et par les voitures de poste, il conviendrait de fixer à $0^m.03$, et au plus à $0^m.035$ par mètre la déclivité maximum, quoique la déclivité normale pour le roulage seul soit de $0^m.038$, et qu'on puisse, sans grands inconvénients, la porter à $0^m.045$, quand on est sûr que la route ne servira qu'aux voitures pesantes allant au pas.

Les nombres portés à la colonne n° 6 démontrent que pour une déclivité de $0^m.057$, moitié en sus de la déclivité normale, la perte est un peu plus de 10 pour 100 de ce que devraient être les frais de transport; que pour $0^m.076$, double de la déclivité normale, la perte est de $42\frac{1}{2}$ pour 100; qu'à $0^m.091$, les frais de transport sont un peu plus du double de ce qu'ils devraient être.... Malheureusement, dans plusieurs départements du centre, les routes royales présentent des déclivités encore plus fortes....

Si l'on avait, pour toutes les routes de France, un re-

levé exact des longueurs par différences de déclivités (et ce relevé n'exigerait pas trop de temps), il serait facile, au moyen d'un tableau analogue au précédent et calculé pour toutes les déclivités, connaissant d'ailleurs le tonnage qui passe sur chaque partie (autre élément indispensable), il serait facile, disons-nous, de calculer très-approximativement les pertes annuelles qui résultent de l'emploi des fortes déclivités, et peut-être alors, l'énormité du chiffre suffirait-elle pour faire reconnaître qu'il est urgent de faire cesser un état de choses aussi nuisible aux intérêts du commerce, aussi ruineux pour le consommateur.

Dans le véritable intérêt du pays, les chemins vicinaux sont peut-être les communications les plus utiles : indépendamment du mauvais état dans lequel ils se trouvent généralement, ils présentent de fortes déclivités comprises entre 6 et 15 pour 100. En supposant que chacune de ces déclivités existe sur la même longueur, la perte spécifique moyenne serait de 2.694..... Il est tels arrondissements où les déclivités sont entre 9 et 15 pour 100, et pour lesquels, par conséquent, la perte spécifique moyenne correspondante est de 3.70..... Enfin, il est telles communes où les déclivités sont entre 12 et 15 pour 100, et la perte correspondante de 5.86!.....

Et qu'on s'étonne, après cela, du malaise d'un grand nombre de communes, de beaucoup d'arrondissements, de plusieurs départements!..... Et cependant, ces communes, dont les transports coûtent six fois plus qu'ils ne devraient coûter, contribuent aux routes royales dont elles ne peuvent profiter, aux canaux dont elles ne soupçonnent pas même l'existence! Qu'on ne croie pas au surplus que, seules, elles soient intéressées à avoir de bons chemins..... Tout se tient, se lie, s'enchaîne..... Les villes sont aussi intéressées que les communes rurales, à ce que celles-ci aient des chemins en bon état : si le cultivateur a besoin de vendre ses denrées, le citadin a encore plus be-

soin de les acheter, et de les payer le moins possible (4) ; il est donc intéressé à la réparation des chemins vicinaux.... Tant qu'ils seront dans l'état affreux où ils se trouvent, quel intérêt pourraient avoir les communes rurales à produire, puisque les frais de transport doublent et triplent la valeur des produits?.... Mieux vaut ne pas produire; mieux vaut laisser perdre sur place.... Aussi, dans ces communes, les bois, et des bois précieux, qui se payeraient fort cher à la ville, pourrissent sur pied : aussi, dans ces communes, la terre est frappée de stérilité; l'on cultive assez de seigle, de blé noir, de pommes de terre, pour suffire aux besoins les plus indispensables.... Que si les gelées ou d'autres intempéries enlèvent ces chétives récoltes, le malheureux habitant abandonne sa chaumière, et vient tendre la main dans la ville.... Et qu'on ne dise pas que ce tableau est chargé; il n'est malheureusement que trop vrai.... Mais revenons aux routes royales.

Les nombres portés à la sixième colonne du tableau démontrent qu'il y a perte sur les frais de transport toutes les fois qu'on ne fait pas usage de la déclivité normale (5). Dès qu'il y a perte, l'on doit chercher à s'en affranchir; mais, avant tout, il faut s'assurer s'il y a réellement avan-

(4) La question des chemins vicinaux est loin d'avoir trouvé jusqu'ici une solution complète.... On parle toujours de la réparation des chemins vicinaux, tandis qu'il faudrait abandonner presque généralement ceux qui existent et créer un système complet approprié aux besoins réels des localités... Une preuve que cette immense question n'est pas comprise, ce sont les moyens employés pour l'exécution des travaux, pour leur surveillance.... L'on se proposerait d'obtenir les plus mauvais résultats, au moyen de la plus forte dépense, qu'on ne ferait pas autrement.... Nous ne craignons pas d'avancer que, de tous les moyens à employer, la prestation en nature est le plus coûteux et le moins productif.... Nous pourrions ajouter le plus vexatoire et le plus injuste. Que de choses à dire sur un sujet aussi important, auquel se relient de si puissants, de si nombreux intérêts !.... Que d'améliorations il serait possible d'obtenir, tout en dépensant beaucoup moins !

(5) Il est à observer que la déclivité normale a été déterminée par la seule condition que les frais de transport seraient un minimum, tandis que, financièrement parlant, c'est la somme des dépenses annuelles

tage, ce qui dépend évidemment de la masse transportée annuellement, du prix d'ouverture du mètre courant et du prix d'entretien.

Il s'agit donc de résoudre ce problème : connaissant le prix P d'ouverture d'un mètre courant de route, et le prix E d'entretien, trouver quel devrait être le nombre N de tonnes à transporter par année, pour qu'il fût avantageux d'abandonner une route déjà ouverte sur une déclivité R'.

qui doit être un minimum. Il est bon de voir si cette nouvelle condition influe beaucoup sur la valeur déjà trouvée pour la pente normale.

Soit x la déclivité normale cherchée : $\frac{1}{x}$ sera le développement réel pour franchir un mètre de hauteur ; soit y le coefficient moyen correspondant à la déclivité x , et déduit des tables de M. Favier : $\frac{y}{x}$ sera la longueur horizontale équivalente au développement réel : soit P le prix d'ouverture de la route par mètre courant : $\frac{P}{x}$ sera la dépense relative à l'ouverture de la route, et $\frac{0.05P}{x}$ l'intérêt du capital de premier établissement ; soit E le prix d'entretien par mètre courant : $\frac{E}{x}$ sera la dépense annuelle d'entretien ; enfin, soit N le nombre de tonnes qui passent annuellement sur la route : $\frac{0.0002Ny}{x}$ sera la dépense annuelle du transport sur la distance horizontale.

La somme des dépenses annuelles est donc

$$S = \frac{0.05P}{x} + \frac{E}{x} + \frac{0.0002Ny}{x} \quad \text{ou} \quad S = \frac{0.05P + E + 0.0002Ny}{x}$$

et d'après la condition, il faut que la valeur de x soit telle que cette expression devienne un minimum.

La valeur de y en fonction de x est assez compliquée, de sorte qu'on tomberait dans de fort longs calculs si l'on voulait trouver la valeur générale de x qui remplit cette condition. Il vaut donc mieux déterminer par le tâtonnement, pour chaque cas particulier, la valeur correspondante de x . Le tableau suivant contient plusieurs exemples qui suffiront pour le but que nous nous proposons. Du reste, l'on conçoit qu'il serait assez facile de dresser des tables qui, pour tous les tonnages et pour tous les prix d'ouverture et d'entretien, donneraient la dé-

L'on conçoit qu'il suffit d'opérer sur le développement correspondant à 1 mètre de hauteur.

clivité normale correspondante. Les titres des colonnes du tableau dispensent d'entrer dans des détails sur sa composition.

Tonnage annuel exprimé en tonnes. N	Prix de l'entretien par mètre courant. E	Prix d'ouverture par mètre courant. P	Déclivités normales des pentes ou rampes correspondantes. x	Dépenses annuelles minimum pour 1 m. 00 de hauteur. S	Dépenses annuelles pour la déclivité de 0 ^m .038 pour 100.	Pertes annuelles par suite de l'emploi de la déclivité de 0 ^m .038.	Rapport de la perte à la dépense annuelle minimum.	OBSERVATIONS (a).
tonn.	fr.	fr.		fr.	fr.			
2 000	0.16	6	0.0443	31.4165	33.1129	1.6964	0.05400	(b)
		12	0.053	36.7642	41.0077	4.2435	0.11542	
		25	0.0659	47.176	58.1129	10.9369	0.23183	
		50	0.075	64.9312	91.0077	26.0765	0.40160	
		100	0.087	95.7907	156.7972	61.0055	0.63615	
5 000	0.18	6	0.045	63.9569	65.1508	1.1939	0.01867	(c)
		12	0.049	70.3545	73.0455	2.6910	0.03825	
		25	0.054	83.008	90.1508	6.1518	0.07412	
		50	0.061	104.6129	123.0455	18.4316	0.17690	
		100	0.071	143.2257	188.835	45.6093	0.31844	
10 000	0.20	6	0.042	117.4386	118.1963	0.7577	0.00645	(d)
		12	0.044	124.3186	126.0911	1.7125	0.01401	
		25	0.048	138.4371	143.1963	4.7592	0.03438	
		50	0.054	163.0530	176.0911	13.0381	0.07996	
		100	0.0609	206.6066	241.8805	35.2739	0.17073	
20 000	0.25	8	0.041	226.4129	227.1821	0.7592	0.00326	(e)
		12	0.042	231.3057	232.4153	1.1366	0.00493	
		25	0.044	246.4245	249.5505	3.1260	0.01269	
		50	0.047	273.7463	282.4453	8.6990	0.03178	
		100	0.053	323.3026	348.2347	24.9321	0.07712	

(a) L'on suppose que la masse transportée est égale dans les deux sens.

(b) Ces données correspondent à peu près aux chemins vicinaux actuels. Les prix d'ouverture étant généralement compris entre 6 fr. et 12 fr., il en résulte que l'on peut adopter la déclivité de 0.05 par mètre pour maximum. A 12 fr. le mètre courant, la perte sur la dépense minimum n'est que de 0.00951 pour 100.

(c) Ces données conviendraient encore pour les chemins vicinaux ; la déclivité de 0.045, qui est normale pour le prix de 6 fr., n'occasionne pour le prix de 25 fr. qu'une perte de 0.02422 sur la dépense annuelle minimum.

(d) Ces données conviennent assez bien aux chemins vicinaux de grande communication : tant que les prix d'ouverture sont compris entre 6 fr. et 25 fr., l'on peut, sans crainte, employer la déclivité de 0.04 comme maximum ; pour le prix de 25 fr. le mètre courant, la perte sur la dépense minimum n'est que de 0.02125 pour 100.

(e) Ces données peuvent convenir aux routes départementales du Cantal : la perte sur la dépense minimum n'étant que de 3 pour 100 lorsque le mètre courant coûte 50 fr., ce qui est très-rare, l'on voit que l'on peut employer comme maximum la déclivité de 0.038, qui est la plus avantageuse pour le roulage.

Pour résoudre ce problème, il faut déterminer les dépenses annuelles correspondant à 1 mètre de hauteur,

Suite de la note.

Tonnage annuel exprimé en tonnes. N	Prix de l'entretien par mètre courant. E	Prix d'ouverture par mètre courant. P	Déclivités normales des pentes ou rampes correspondantes. x	Dépenses annuelles minimum pour 1 ^m .00 de hauteur. S	Dépenses annuelles pour la déclivité de 0 ^m .038 pour 100.	Pertes annuelles par suite de l'emploi de la déclivité de 0 ^m .038.	Rapport de la perte à la dépense annuelle minimum.	OBSERVATIONS.
tonn.	fr.	fr.		fr.	fr.			
30 000	0.35	12	0.041	339.0546	340.1153	1.0607	0.00312	(c)
		25	0.043	354.6673	357.2205	2.5532	0.0072	
		50	0.045	383.0747	390.1153	7.0406	0.01838	
		100	0.05	435.770	455.9047	20.1347	0.04620	
75 000	0.60	200	0.056	530.3196	587.4837	57.1641	0.10779	(g)
		12	0.04	818.4675	819.3671	0.8996	0.00110	
		25	0.04	834.7175	836.4723	1.7548	0.00710	
		50	0.0417	865.3117	869.3671	4.0554	0.00469	
200 000	1.80	100	0.044	923.5239	935.1565	11.6326	0.01260	(h)
		200	0.048	1032.5489	1066.7355	34.1866	0.03311	
		25	0.04	2178.83	2181.0316	2.2016	0.00101	
		50	0.04	2210.08	2213.9263	3.8463	0.00174	
400 000	2.00	100	0.041	2271.7463	2279.7158	7.9695	0.00351	(i)
		200	0.043	2390.8186	2411.2947	20.4761	0.00856	
		25	0.039	4285.1384	4287.0631	1.9247	0.00045	
		50	0.039	4317.1897	4319.9579	2.7682	0.00064	
		100	0.04	4380.16	4385.7474	5.5874	0.00128	
		200	0.041	4504.2244	4517.3263	13.1019	0.00291	

(f) Ces données sont relatives aux routes royales du Cantal : le tonnage devant augmenter par suite des changements de direction, l'on voit que l'on peut employer 0.038 pour déclivité maximum, puisque la perte n'est pas de 2 pour 100 sur la dépense minimum, lorsque le mètre courant coûte 50 fr., ce qui arrive rarement.

(g) Ces données correspondent à peu près à la moyenne des routes de France : la perte n'étant que les 0.033 de la dépense minimum, lorsque le mètre courant revient à 200 fr., l'on voit que l'on peut sans crainte employer pour maximum la déclivité de 0.038 qui est la plus avantageuse pour le roulage.

(h) Ces données correspondent aux routes royales très-fréquentées : la perte sur la dépense minimum étant très-faible, même dans le cas où le mètre courant coûterait 200 fr., on voit que l'on peut employer pour maximum la déclivité de 0.038.

(i) Même observation que ci-dessus. Les données correspondent aux routes royales aux abords de Paris.

tant sur la nouvelle direction que sur la route actuelle pour un nombre N de tonnes. En égalant ces dépenses, on

Suite de la note.

Il est bien essentiel de remarquer que les déclivités indiquées à la 4^e colonne ne sont les plus favorables, sous le rapport financier, que dans la supposition où les routes ne seraient fréquentées que par le roulage.

D'après l'inspection du tableau ci-dessus, l'on voit qu'excepté dans le cas où le tonnage est très-faible et le prix du mètre courant fort élevé, eu égard aux prix ordinaires, il est presque inutile de considérer la question sous le rapport financier, et que dans l'intérêt du roulage, il vaut mieux prendre pour maximum la déclivité de 0^m.038.

Mais les routes royales ne sont pas seulement fréquentées par les rouliers, et la déclivité de 0.038 par mètre est beaucoup trop forte pour les voitures à grande vitesse, telles que les diligences et les voitures de poste : aussi l'on croit pouvoir tirer du tableau précédent les conclusions suivantes :

1^o Pour les routes royales aux environs de Paris et aux abords des grandes villes, qui sont très-fréquentées par les voitures à grande vitesse, il conviendrait d'admettre pour maximum de déclivité 0^m.025 par mètre.

2^o Pour les routes royales moyennes (celles dont le tonnage est de 60,000 tonnes), également fréquentées par les voitures de poste, il ne faudrait pas dépasser 0^m.03 par mètre pour déclivité maximum.

3^o Pour les routes royales du Cantal, la déclivité maximum de 0.035 conviendrait mieux que celle de 0.038 que nous avons adoptée dans les études relatives aux rectifications dont ces routes sont susceptibles.

4^o Pour les routes départementales, il conviendrait d'adopter 0.038 pour déclivité maximum.

5^o Pour les chemins de grande communication, il ne faudrait pas dépasser 4 pour 100.

6^o Enfin sur les chemins vicinaux, il faudrait adopter pour déclivité maximum 0^m.045 ou 0^m.05 par mètre, suivant le tonnage.

Remarquons d'ailleurs qu'avant d'arrêter la déclivité à suivre pour une direction quelconque, il est bien essentiel de se rendre compte du rôle qu'elle est appelée à jouer dans le système général des communications : Ainsi, tel chemin qui a été en quelque sorte complètement oublié jusqu'à ce jour, peut, d'ici à quelques années, faire partie d'une ligne très-importante pour laquelle peut-être la déclivité maximum ne devrait être que de 0.035, tandis que si l'on ne jugeait que de son importance actuelle, on pourrait croire que celle de 0.05 est encore beaucoup trop faible.... Cette observation s'applique surtout aux chemins vicinaux... En bonne administration, il ne faut jamais sacrifier l'avenir au présent; en bonne administration il faut surtout savoir prévoir l'avenir et profiter de l'expérience du passé. N'oublions pas que les routes royales, qui aujourd'hui occasionnent peut-être plus de 60 millions de perte annuelle, furent regardées, dans l'origine, comme d'im-

aura une équation , d'où l'on tirera pour N la valeur suivante :

$$N = \frac{P + 20E - 0.76 \frac{E}{R'}}{0.000152 (L' - L)}$$

dans laquelle L et L' sont les longueurs horizontales équivalentes aux développements réels correspondant à 1 mètre de hauteur, tant sur la route normale que sur la route actuelle. Tout étant connu dans le second membre, il suffira de mettre à la place de P, E, L, R', L' leurs valeurs, pour avoir celle de N, c'est-à-dire le nombre de tonnes qui doit passer annuellement sur la route pour qu'il soit indifférent, sous le rapport financier, d'exécuter ou non la nouvelle direction.

Si le tonnage qui passe réellement sur la route est plus petit que la valeur trouvée pour N, ce changement de direction, bien qu'utile pour la facilité des transports, ne serait pas avantageux sous le rapport financier, c'est-à-dire, que le capital nécessaire pour l'ouverture de la direction normale ne serait pas placé à 5 pour 100, et, dès lors, l'on conçoit que l'on doive ajourner ce changement de direction, l'administration pouvant trouver facilement un emploi plus avantageux des fonds du trésor.

Si le tonnage qui passe annuellement sur la route est juste égal à la valeur trouvée pour N, il est indifférent, sous le rapport financier, que l'on exécute ou non la nouvelle direction; les fonds seraient placés à 5 pour 100.

menses améliorations... Cette leçon ne devrait pas être perdue, alors qu'on s'occupe partout de créer un système de communications vicinales.... Nous ne craignons pas de le dire hautement : Il y a déjà eu de grandes fautes commises à ce sujet.... Il est de l'intérêt de la France entière que ces fautes ne servent pas de prétexte pour en commettre de nouvelles.... Ce qui est le plus fâcheux, c'est qu'on ne manque pas de beaux raisonnements pour justifier de semblables erreurs.... Nous l'avons déjà dit : la question des chemins vicinaux est loin d'être résolue, et il importe à l'avenir du pays qu'elle le soit d'une manière satisfaisante. (Voir la note 1).

Mais si le tonnage réel qui passe sur la route est plus grand que N , il y a avantage à exécuter les travaux ; car les fonds seraient placés à plus de 5 pour 100.

Prenons un exemple : cherchons quel devrait être le tonnage annuel pour qu'il fût avantageux de remplacer une côte déjà ouverte ayant 0.07 de déclivité par mètre, dans la supposition que le prix d'ouverture de la nouvelle côte fût de 25 francs le mètre courant, le prix d'entretien étant de 0^{fr}.35 par mètre ; dans cet exemple, l'on a :

$$P=25 \text{ fr. } E=0^{\text{fr}}.35 \text{ L}=52.51921 \text{ R}'=0.07 \text{ L}'=68.25784 ;$$

ces derniers sont donnés par la 4^e colonne du tableau.

En faisant les calculs, l'on trouve que dans cette hypothèse $N=11\,787^{\text{t}}.96$.

Ainsi, dans le cas où le tonnage annuel (6) qui passe sur la route ne serait pas de $11\,787^{\text{t}}.96$, il n'y aurait pas lieu à changer cette route ; si le tonnage est juste de $11\,787^{\text{t}}.96$, il est indifférent, sous le rapport financier, d'exécuter ou non la nouvelle côte : les fonds seraient placés à 5 pour 100 ; mais si le tonnage dépasse $11\,787^{\text{t}}.96$, il y a avantage à exécuter la nouvelle côte à pente normale. Calculons cet avantage dans la supposition de $N=30\,000$ tonnes, et pour une côte de 100 mètres de hauteur, qui aurait par conséquent $1\,428^{\text{m}}.57$ de développement réel.

(6) L'on voit combien il serait utile de connaître la masse transportée sur chaque route : observons à ce sujet que les améliorations dont les routes sont susceptibles doivent nécessairement augmenter la circulation : aussi, convient-il d'examiner en pareil cas, si la masse transportée ne doit pas augmenter au point que, même sous le rapport financier, il fût très-avantageux d'exécuter immédiatement des rectifications qui, dans l'état actuel des choses, pourraient paraître d'un très-minime intérêt.....Il faut donc tâcher de prévoir l'avenir, et pour cela connaître parfaitement non-seulement la production actuelle, mais l'accroissement possible de la production... Sous ce rapport, il y a d'importantes études à faire, et qui méritent de fixer l'attention de la haute administration.

Tableau comparatif des deux directions.

INDICATION des directions.	Longueurs réelles des développements.	Longueurs horizontales équivalentes.	Capital de premier établissement.	DÉTAIL des dépenses annuelles.			Total des dépenses annuelles.
				Intérêts du capital.	Frais d'entretien.	Frais de transport.	
1	2	3	4	5	6	7	8
Nouvelle côte à 0.038. . .	mèt. 2631.58	mèt. 5251.92	fr. 65789.50	fr. 3289.48	fr. 921.05	fr. 31511.52	fr. 35722.05
Côte actuelle à 0.07. . .	1428.57	6825.78	•	•	500.00	40954.68	41434.68
Différences. .	1203.01 +	1573.86 —	65789.50 +	3289.48 +	421.05 +	9443.16 —	5732.63 —

Il résulte de ce tableau qu'à la vérité la nouvelle direction a 1203^m.01 de plus que la côte actuelle, en développement réel, et qu'elle exige une dépense de 65 789^{fr}.50, tandis que la côte actuelle est supposée à l'état d'entretien, mais aussi la nouvelle côte aurait 1573^m.86 de moins de distance horizontale : elle économiserait annuellement 9 443^{fr}.16 sur les frais de transport, et en définitive, l'économie sur les dépenses annuelles est de 5732^{fr}.63 qui représentent un capital de 114 652^{fr}.60. Si l'on fait attention que l'intérêt du capital fait partie des dépenses annuelles, il en résulte qu'exécuter la nouvelle côte, c'est dépenser 1 sur les fonds du trésor, pour éviter au commerce une avance de 2.742, et par conséquent au contribuable, de dépenser en pure perte 3.0162; en d'autres termes, c'est dépenser 65 789^{fr}.50 sur les fonds du trésor, pour que le consommateur obtienne un dégrèvement de 15.081 pour 100 du capital dépensé..... L'on ne peut donc douter de l'avantage qui résulterait des travaux dont il s'agit.

Si le tonnage, au lieu d'être de 30 mille tonnes, était de 50 mille, les autres données restant les mêmes, l'on

trouverait que l'économie annuelle sur les frais de transport serait de 15 738^{fr.}.60 ; que celle sur les dépenses totales annuelles serait de 12 028^{fr.}.07 , et qu'en définitive , dépenser 65 789^{fr.}.50 sur les fonds du trésor, pour exécuter la nouvelle côte dont il s'agit , ce serait opérer sur le contribuable un dégrèvement égal à 25.61 pour 100 de la somme ci-dessus.

Prenons pour deuxième exemple une côte à 12 pour 100 ; supposons que le prix d'ouverture soit de 10 francs par mètre courant, celui de l'entretien 0^{fr.}.18 , ce qui s'appliquerait assez bien aux chemins vicinaux des départements montagneux ; on trouvera , au moyen de la formule ci-dessus , qu'il y aurait avantage à changer la direction , si la masse transportée annuellement dépassait 520^{h.}.64. Si le tonnage était de 2 000 tonnes , on trouverait pour une côte de 50 mètres de hauteur, ayant par conséquent une longueur réelle de 416^{m.}.67 , qu'il y aurait 3 057^{fr.}.96 d'économie annuelle sur les frais de transport , à ouvrir une nouvelle côte à pente normale coûtant 13 157^{fr.}.90 ; de sorte qu'en définitive , ces 13 157^{fr.}.90 rapporteraient 21.69 pour 100. Si le tonnage s'élevait à 5 000 tonnes , l'économie annuelle sur les frais de transport serait de 7 644^{fr.}.98 , et les 13 157^{fr.}.90 employés à l'ouverture de la nouvelle côte seraient placés à 56.87 pour 100 !

D'après de pareils résultats , peut-on douter que la réparation complète , ou plutôt , pour parler plus exactement , la création d'un système complet de grande et petite vicinalité ne fût un dégrèvement énorme ?

Il est bien essentiel de remarquer qu'aujourd'hui , par suite de l'état affreux de ces importantes communications , il n'y a que très-peu de relations d'une commune à la commune voisine ; mais qu'un système complet de chemins soit exécuté , les relations décupleront..... Il arrivera quelque chose d'analogue à ce qui se passe toutes les fois qu'on trouve le moyen , par une forte diminution dans le prix ,

de mettre un produit utile, qui répond à un besoin réel, à la portée d'un plus grand nombre de consommateurs..... Et au fait, qu'est-ce que les routes et les chemins de toute espèce? Le moyen de reproduire des transports..... Améliorez la machine qui donne d'aussi utiles produits, les transports descendront à bas prix, et de suite, il y aura une augmentation considérable dans la consommation de ce produit. Les transports étant à bas prix, les communes rurales seront intéressées à produire, et elles produiront... Les propriétés augmenteront de valeur; des terrains incultes donneront de bonnes récoltes; des denrées, qui se perdaient sur place, trouveront un débouché facile et avantageux.....

Le vrai moyen, le seul peut-être de porter l'aisance et la civilisation dans les contrées qui forment la moitié de la surface de la France, est de créer un système complet de voies de communication. D'un autre côté, à mesure que l'aisance et la civilisation pénétreront dans cette partie faible, exténuée, malade, de la population, il y aura accroissement notable dans la consommation, et par conséquent nécessité absolue d'augmenter la production; le vrai moyen, le seul peut-être d'encourager tous les genres d'industrie, est donc de créer un système complet de voies de communication.

Nous avons évalué les pertes occasionnées par l'emploi des pentes fortes; mais ce n'est pas le seul défaut que présentent les routes. Il nous reste à parler des tracés vicieux. Nous appelons ainsi ceux pour lesquels on monte plus qu'on ne devrait faire.

Déterminons d'abord la perte qui a lieu lorsqu'on monte inutilement de 1 mètre de trop.

Si l'on monte inutilement de 1 mètre, il est évident qu'il faudra descendre également de 1 mètre: c'est donc allonger inutilement de tout le développement correspondant à 2 mètres de hauteur; or, le développement le plus

avantageux, ainsi que le démontre le tableau de la p. 222, est celui qui correspond à la déclivité de 0.038 : ce développement, pour 2 mètres de hauteur, est de 52^m.63158 ; ainsi, monter de 1 mètre de trop, c'est allonger inutilement le trajet à parcourir de 52^m.63158, ayant 0.038 de déclivité par mètre, ou, ce qui est absolument la même chose, de 105^m.03842 de route horizontale ; mais nous avons vu que, pour une route sur laquelle il passe chaque année 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 120, 150....*n* mille tonnes, allonger d'un mètre de route horizontale, c'était faire perdre inutilement au consommateur

1^{fr}.10, 2^{fr}.20, 3^{fr}.30, 4^{fr}.40, 5^{fr}.50, 6^{fr}.60, 8^{fr}.80,
11^{fr}, 13^{fr}.20, 16^{fr}.50, 22^{fr}, 26^{fr}.40, 33^{fr},... 0^{fr}.22*n*.

donc, monter de 1 mètre de trop, c'est faire perdre inutilement chaque année, c'est entièrement détruire

115^{fr}.54, 231^{fr}.08, 346^{fr}.63, 462^{fr}.17, 577^{fr}.71, 693^{fr}.25,
924^{fr}.34, 1155^{fr}.42, 1386^{fr}.51, 1733^{fr}.13, 2310^{fr}.85,
2773^{fr}.01, 3466^{fr}.27..... 23^{fr}.1084524*n*.

Et encore est-il à remarquer que nous supposons que les 2 mètres de hauteur sont rachetés par le développement le plus avantageux, tandis qu'en réalité, c'est presque toujours une forte déclivité ; ne fût-elle moyennement que de 0^m.06 par mètre, il faudrait, d'après la sixième colonne du tableau, ajouter, à chacun des nombres ci-dessus, 0.14242 pour 100.

Ce n'est pas tout : à ces différentes sommes, il faut encore ajouter : 1^o l'intérêt du capital nécessaire pour exécuter les 52^m.63 de route qu'exige ce mètre de trop qu'il faut franchir ; 2^o la dépense relative à l'entretien.

Pour une circulation de 30 mille tonnes, par exemple (et ce tonnage moyen peut être admis pour les routes royales du Cantal, en faisant observer, toutefois, qu'au moyen des rectifications dont ces routes sont susceptibles, l'on ne peut douter qu'il n'augmente beaucoup par la

suite), la perte annuelle par mètre de hauteur de trop qu'on aurait franchi inutilement, c'est-à-dire qu'on pourrait éviter, cette perte, en supposant l'ouverture de route à 25 francs le mètre courant, et l'entretien à 0^{fr}.35, est de 777^{fr}.46.

D'après une étude approfondie que nous avons faite des routes du Cantal, nous avons trouvé qu'elles montaient de 3148^m.65 de trop : elles occasionnent donc aux contribuables une perte annuelle de 2 400 000 fr. environ, ce qui représente un capital de 48 millions. Les dépenses relatives à ces rectifications sont évaluées 8 748 125^{fr}.47 ; supposons 10 millions : ce serait dépenser 1 pour recueillir 4.8. En d'autres termes, ce seraient des fonds placés à 24 p. 100 ; ce serait dépenser 10 millions pour faire jouir le consommateur d'un dégrèvement de 2 millions 400 mille francs.

Il est vrai qu'avec une dépense de 3 millions environ, l'on pourrait achever les routes actuelles du Cantal, qui, une fois terminées, pourraient, à la rigueur, suffire aux besoins actuels du département ; mais ce n'est pas le Cantal qu'il faut voir isolément, ce sont tous les départements intéressés à traverser le Cantal sans difficultés : si l'on terminait les routes actuelles, on économiserait donc 7 millions environ sur les fonds du trésor ; mais aussi le consommateur continuerait à perdre chaque année 2 400 000^{fr}.000.....

L'on ne saurait trop le répéter : la véritable économie ne consiste pas à dépenser le moins possible, mais à dépenser juste ce qu'il faut pour atteindre le but qu'on doit se proposer : en fait de travaux de route surtout, les économies peuvent être ruineuses (par exemple, dépenser 3 millions au lieu de 10 pour perdre annuellement 2 millions 400 mille francs) ; en fait de travaux de route surtout, des dépenses considérables peuvent être essentiellement productives (dépenser 10 millions au lieu de 3 millions pour dégrever le consommateur de 2 400 000 francs).

Il ne faut pas le dissimuler, la rectification des routes royales exigera des sommes énormes..... Nous n'avons pas à notre disposition les éléments nécessaires pour traiter cette grande question : il y aurait témérité de notre part à vouloir l'aborder ; mais quelles que soient ces dépenses, nous ne craignons pas d'assurer qu'elles seraient essentiellement productives, et dès lors que tout retard dans l'exécution de travaux aussi utiles est une véritable perte pour le pays.

Cette perte est bien plus considérable qu'on ne pourrait le supposer : nous ne serions pas étonné quand elle s'élèverait à plus de 60 millions par an (7), ce qui représente un capital de 1 200 millions ; or, quand même les travaux à exécuter exigeraient une dépense de 300 millions, ce serait dépenser 1 pour recueillir l'intérêt de 4 ; ce seraient des fonds placés à 20 pour 100. En d'autres termes, ce serait une diminution de 60 millions par an dans les dépenses obligées du consommateur.....

A ce sujet, qu'il nous soit permis de répéter ce que disait dernièrement M. le ministre des finances :..... « Oui, » je suis convaincu que la modicité des contributions pu-

(7) Le tonnage moyen des routes royales de France est au moins de 75 000 tonnes. D'après ce que nous avons dit plus haut, monter de 1 mètre de trop, c'est perdre :

1° Les frais de transport de 75 000 tonnes sur 105 ^m .04 de longueur horizontale.	fr. 1733.13
2° 52.63 de route à 25 fr. (prix moyen) 1 315.75 dont l'intérêt est de.	65.79
3° L'entretien de 52.63 à 0 ^{fr} .60 (prix moyen).	31.58

Total. 1830.50

Supposons en nombres ronds. 1800.00

Les routes du Cantal montent de 3 000 mètres de trop : supposons que sous ce rapport, les 86 départements représentent 12 départements comme le Cantal ; les routes royales monteraient donc de 36 000 mètres de trop. La perte annuelle qu'elles occasionneraient serait donc de. 64 800 000 fr. qui représentent un capital de 1 296 millions.

» bliques n'est pas la mesure du bien-être des peuples. Je
» crois que le bon emploi des subsides importe plus encore
» que leur quotité. Je suis persuadé que les états pros-
» pèrent moins par la réduction des impôts que par les
» entreprises d'utilité générale qui, au prix de quelques
» efforts, fécondent le présent et enrichissent l'avenir.....
» Je l'ai dit en d'autres circonstances : il est deux manières
» d'administrer les finances des nations. En procédant par
» l'une, on sacrifie le progrès à la popularité passagère
» des dégrèvements ; l'autre consiste à répandre l'aisance
» et à abaisser, par l'accroissement successif des revenus
» individuels, la quotité proportionnelle des charges pu-
» bliques. Si je ne m'abuse, c'est ce dernier système qui
» convient à la France : elle a l'instinct de la grandeur ;
» elle en éprouve le besoin, et ne supporterait pas une
» administration dont les vues étroites la condamneraient
» à l'immobilité. »

La chambre ne pouvait que partager des vues aussi élevées : quelques jours après, en répondant au discours du trône, elle adressait au roi ces paroles qui ont du retentissement en France :

« Parmi les services auxquels la chambre doit pourvoir,
» il n'en est pas de plus digne de son intérêt que l'exécu-
» tion des différentes voies de communication : les dé-
» penses que ces travaux exigent sont des avances qui ren-
» trent au trésor par toutes les sources du revenu public. »

L'on doit donc espérer que la chambre votera les fonds nécessaires pour diminuer chaque année les pertes énormes qu'occasionnent les routes par suite des pentes fortes et des tracés vicieux qu'elles présentent. Elle s'y refusera d'autant moins qu'avant de rentrer au trésor par toutes les sources du revenu public, ces avances répandront l'aisance, augmenteront les revenus individuels, véritables moyens de féconder le présent, d'enrichir l'avenir.

Aurillac, 12 mars 1842.

N° 74.

*Échappements des barrages à fermettes mobiles :*1^{re} Disposition employée sur l'Yonne ;2^{re} Disposition employée sur la Seine.1^{er} MÉMOIRE SUR LES ÉCHAPPEMENTS EMPLOYÉS AUX BARRAGES
DE L'YONNE ;

Par M. CHANOINE, Ingénieur des ponts et chaussées.

Je crois utile de dire quelques mots sur les projets adoptés pour l'amélioration de la navigation de l'Yonne, et sur les avantages que les barrages mobiles ont déjà procurés, avant de donner la description des échappements qui sont l'objet de ce mémoire. Cette courte analyse et quelques détails sur la forme des barrages mobiles exécutés jusqu'à ce jour, feront mieux ressortir l'importance des modifications que les échappements ont introduites dans les manœuvres.

Projet adopté pour l'amélioration de la navigation de l'Yonne. — La navigation de l'Yonne est libre et continue, tant que les eaux sont assez hautes ; elle devient intermittente, quand leur niveau ne s'élève plus que de 0^m.50 au-dessus de l'étiage, et alors elle ne peut se soutenir qu'à l'aide de lâchures périodiques, que l'on fait plusieurs fois par semaine, en ouvrant successivement les pertuis de la Haute-Yonne, et ceux de ses affluents. Les eaux en s'accumulant forment une petite crue, à laquelle on a donné le nom d'*éclusee*, et dont on profite pour descendre les trains et les bateaux.

L'éclusee parcourait jadis, sans rencontrer d'obstacles, les 120 000 mètres qui séparent Auxerre de Montereau, s'affaiblissait à mesure qu'elle s'éloignait de son origine, et s'aplatissait tellement en s'allongeant, que les embarcations

parties de la Haute-Yonne, avec un tirant d'eau convenable, s'engravaient en approchant de l'embouchure de cette rivière en Seine.

Au reste, comme la navigation de l'Yonne est essentiellement descendante, il est d'un grand intérêt de favoriser la rapide exportation des produits qui prennent cette voie pour se rendre à Paris, ou vers le nord de la France (1).

Après de longues discussions et des études approfondies, on s'arrêta au projet d'amélioration suivant :

1° De vastes réservoirs seront établis sur l'Yonne et ses affluents, et l'on y emmagasinera les eaux surabondantes de l'hiver et des orages, pour renforcer pendant les sécheresses le débit de l'Yonne navigable, que ne cessent d'appauvrir les déboisements, les irrigations, l'accroissement des usines, et surtout l'alimentation des canaux du Nivernais et de Bourgogne.

2° On construira, entre Auxerre et Montereau, dans le lit même de l'Yonne, plusieurs barrages mobiles placés à de grandes distances les uns des autres et dont la destination principale sera de faire faire à l'éclusee des temps d'arrêt, dans des retenues, où elle réunira ses eaux, et reprendra la hauteur qu'elle avait perdue en avançant dans sa course.

Ces barrages, qu'on a nommés *barrages d'arrêt*, se dressent sur le fond du lit de la rivière à l'approche de l'éclusee, en retiennent les eaux assez longtemps, et les relèvent assez haut, pour qu'en les lâchant, elles produisent le plus grand effet utile. Dès que l'instant d'ouvrir les barrages est arrivé, on y pratique des passes d'au moins 35 mètres de large, par lesquelles les eaux s'écoulent, entraînant les trains et les bateaux. L'écoulement reste libre dans les passes jusqu'à l'annonce d'une nouvelle éclusee, pour ne causer aucun retard à la navigation montante.

(1) Voir Annales, Mémoires et documents, 2^e série, 1^{er} semestre 1841, page 19.

Cependant parmi ces barrages il en est quelques-uns qu'on est obligé de tenir presque constamment fermés, si ce n'est pour le passage des éclusées, des glaces ou des crues; ce sont ceux qui sont situés immédiatement au-dessous des rivières de quelque importance, et des canaux du Nivernais et de Bourgogne. Il est indispensable qu'ils y forment de vastes bassins pour le garage des bateaux, le chargement et le transbordement des marchandises. Ces barrages, appelés *barrages de retenue*, afin de les bien caractériser, sont nécessairement accompagnés d'une grande écluse, pour le service presque exclusif de la navigation montante.

Ainsi de vastes réservoirs pour augmenter le débit de la rivière pendant les sécheresses; huit barrages d'arrêt pour renforcer dans sa marche le flot de l'écluse; trois barrages de retenue pour le service spécial des embouchures de la Vanne, rivière flottable, et des canaux, sur lesquels on *emmaganisera* en outre, à l'avance, des masses d'eau considérables qui s'adjoindront au flot de l'écluse, lors de son passage; des ouvrages d'art d'utilité locale, dont il est inutile de parler ici; tel est l'ensemble des travaux qui procureront sans aucun doute à la navigation de l'Yonne, d'importantes améliorations, si on en juge par les résultats avantageux qu'ont déjà produits le barrage d'Épineau et ceux que l'on a construits en 1841 (2).

Extrait du procès-verbal des séances de la commission chargée de faire des expériences sur les barrages mobiles de l'Yonne. — Je ne puis mieux faire pour donner une juste idée de ces résultats, que de citer ici textuellement les conclusions du procès-verbal qu'a dressé la commis-

(2) Le conseil des ponts et chaussées, à la suite d'un examen approfondi de différents projets présentés pour continuer le système des améliorations de la rivière d'Yonne, a été d'avis, dans une de ses séances du mois de mars 1843, qu'il y avait lieu :

1° De construire immédiatement un réservoir dans la vallée des Sétons sur la Cure, afin de se rendre compte de l'influence que les lâ-

sion réunie à Joigny, en octobre dernier, par arrêté de M. le ministre des travaux publics, pour faire des expériences sur les barrages mobiles construits sur l'Yonne, en 1838 et 1841 (3).

« 1° On peut arrêter sur les barrages étagés d'Épineau, de Péchoir et de Joigny, et sur ceux de Villeneuve-le-Roi et de Saint-Martin, une écluse pendant 24 heures, puis qu'une écluse arrivée le 18 octobre, et arrêtée le même jour sur ces barrages, n'a été lâchée que le lendemain, et a produit des résultats inespérés. Il demeure donc établi que l'on peut, dans l'intérêt même de la marine, retarder de plusieurs heures, et même remettre au lendemain le départ des embarcations.

chures des eaux provenant des réserves emmagasinées de cette manière, pourront exercer sur les éclusées;

2° De construire trois barrages mobiles au-dessus d'Auxerre pour former des retenues dans lesquelles on pourra emprunter la masse d'eau qui est nécessaire aux éclusées, et que l'on prend aujourd'hui dans la rivière au détriment de la navigation du canal du Nivernais;

3° D'accoler des écluses aux cinq barrages déjà construits, à Épineau, au Péchoir, à Joigny, à Sens et à Villeneuve-le-Roi;

4° De construire six nouveaux barrages, également avec écluse accolée, à la Chainette, au-dessous d'Auxerre, à Létay, à Bassou, à Champfleury, à Port-Renard et à Cannes.

5° De donner 12 mètres de largeur aux écluses et une longueur suffisante pour que le sas puisse contenir un trait entier; d'arraser le couronnement des bajoyers au niveau de la retenue, de manière à ce que le bajoyer du large serve de déversoir régulateur; de fermer les portes d'amont et d'aval au moyen d'aiguilles s'appuyant par leur pied contre un seuil en charpente analogue à celui des barrages mobiles, et par le haut contre une planche en barre de fer, formant passerelle tournante;

6° Enfin d'exécuter différents travaux d'amélioration du lit et des berges de la rivière.

(Note du secrétariat.)

(3) Cette commission était ainsi composée :

MM. Vuitry, député, président;

Jacques Palotte, membre du conseil général, secrétaire;

Poirée, inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées;

Tiphaine, commissaire général de la navigation;

Vérollet, Gallois, Garnier, membres du conseil général de l'Yonne;

Michel de Rotrou, Marion jeune, Goyard (Edme), agents principaux de compagnies de marine;

Rousselin, Michaux, Petit et Dufour, agents principaux du commerce de bois et des flottages.

» 2° Cette écluse n'ayant en hauteur à Bassou que 0^m.58, pour la tenue de la navigation, ne pouvait donner de Pont-sur-Yonne à Montereau que 0^m.51; c'est un fait reconnu de tous les mariniers : néanmoins la même écluse, modifiée dans sa marche par les barrages mobiles, a donné de Pont-sur-Yonne à Montereau 0^m.75 (l'augmentation en hauteur est de 0^m.24), sans que sa durée navigable en fût sensiblement altérée, car, pendant 2 heures, les eaux se sont maintenues à Pont-sur-Yonne entre 0^m.76 et 0^m.65; à Misy, pendant 3 heures, entre 0^m.74 et 0^m.67; et sont restées navigables à Montereau pendant 4^h.30', puisque le premier bateau a traversé le pont à 9^h.30', et le dernier à 2 heures après midi.

» 3° Une écluse semblable, de 0^m.58, met en général 30 heures à parcourir la distance de Laroche à Montereau; et l'écluse dont il s'agit, partie de Laroche le 19 à midi 30', est arrivée à Montereau le 20 à 9^h.30' du matin; elle n'a donc mis que 21 heures à franchir les 92 000 mètres qui séparent ces deux points, et a ainsi gagné 9 heures sur les anciennes écluses de même hauteur.

» Une seconde expérience faite le 21, d'une manière différente, a prouvé qu'une écluse de 0^m.68 à Bassou, pouvait arriver à Pont-sur-Yonne avec la même hauteur, et parcourir en 15^h.15' l'espace qu'elle franchissait jadis en 19 heures.

» 4° Si l'ouverture du barrage de Villeneuve-le-Roi, faite 2 heures avant l'arrivée de la véritable tête de flot, a allongé l'écluse aux dépens de sa hauteur, et a donné le moyen, à toutes les embarcations qui se trouvaient en marche, de se rendre à Montereau par le même flot, bien que plusieurs d'entre elles aient dû se garer, à cause d'un épais brouillard; s'il est aussi constant qu'en ouvrant le barrage au moment indiqué, l'écluse eût été plus haute, mais aussi moins longue; cette circonstance devenue heureuse prouve qu'en manœuvrant convenablement les bar-

rages , on peut rehausser et raccourcir à volonté le flot d'une éclusee , l'allonger et l'abaisser.

» L'éclusee ancienne était donc la force brute abandonnée à elle-même , tandis que l'éclusee pliée sous le joug des barrages mobiles est cette même force domptée et dirigée par le pouvoir de l'homme ; c'est une conquête immense pour l'amélioration des rivières navigables (4) ».

Description succincte des barrages construits sur l'Yonne d'après l'ancien système. — Tous les barrages de l'Yonne sont à peu près construits , à l'exception de celui de Saint-Martin , sur le modèle de celui d'Épineau , dont le N° CLXVIII des Annales des ponts et chaussées (1^{er} série, t. XVII , page 238) , donne une exacte description.

Chaque barrage se compose d'une suite de cadres en fer , appelés fermettes , qui se dressent et se couchent à volonté sur un radier en maçonnerie établi au-dessus du fond du lit de la rivière , et de travaux accessoires , tels qu'un épaulement , un déversoir , une pile-magasin pour les agrès , etc. Les fermettes sont équidistantes d'un mètre environ.

Quand on veut fermer le barrage dont elles font partie , on les relève une à une , et on les accroche entre elles avec de fortes barres de fer , en même temps qu'on place , sur leur partie supérieure , un pont de service en légères planches de sapin ; enfin on glisse en avant des aiguilles en

(4) M. l'inspecteur de la navigation a fait le 8 novembre une heureuse application de ce principe. Quelques pluies faisant espérer une petite crue vers la fin d'octobre , plusieurs bateaux étaient partis avec un tirant d'eau de 0^m.70 à 0^m.75 , et s'étaient engravés en route ; depuis lors les éclusees ordinaires avaient été insuffisantes pour les remettre à flot ; les froids survinrent , et la position de ces embarcations non garées devenait très-critique. Dans ces conjonctures , M. l'inspecteur de la navigation retint sur les barrages l'éclusee arrivée le 7 novembre , et ne la lâcha que le lendemain. La hauteur du flot qu'il produisit ainsi en rivière , fut telle que toutes les embarcations purent se remettre en route : il en passa plus de quatre-vingt-quinze au barrage de Saint-Martin qui arrivèrent heureusement en Seine : le flot marqua à l'échelle du pont de Sens , 0^m.84 , et à celle de Pont-sur-Yonne , ainsi qu'à celle de Montereau , 0^m.88.

bois, dont le pied s'appuie contre un heurtoir saillant sur le radier, et la tête contre les barres de réunion.

Pour ouvrir le barrage, on commence par enlever, une à une et à la main, les aiguilles que l'on jette dans un bateau, puis on détache successivement chaque fermette, on l'échoue, et on en enlève à mesure les barres et le pont de service.

De ces manœuvres, la plus importante et la plus délicate est évidemment le débouchage, parce qu'il doit se faire avec promptitude et dextérité, dès que le flot de l'éclusee arrive, que ce soit de jour ou de nuit; et il est à remarquer que la moitié des barrages de l'Yonne seroient nécessairement manœuvrés pendant la nuit, puisque le flot met, suivant l'état de la rivière, de 30 à 40 heures pour franchir la distance d'Auxerre à Montereau.

Temps que l'on met à déboucher un mètre courant de barrage. — Enlèvement des aiguilles à la main et une à une. — Des expériences sans cesse répétées depuis 1838, ont établi qu'il suffisait d'ouvrir, pour le passage d'une éclusee, chaque barrage sur une longueur de 35 à 40 mètres seulement; elles ont fait reconnaître aussi que quatre hommes mettaient pour la déboucher de 40 à 45 minutes, que trois hommes employaient une heure au même travail, et que deux y consacraient une heure $\frac{1}{2}$; c'est environ 2'.34" par mètre courant.

Voici le détail de l'emploi de ce temps :

Enlèvement des aiguilles.	2'	0"
<i>Idem</i> du plancher et de la barre.		20"
Renversement de la fermette.		5"
Mesurage pour s'assurer que la fermette est à fond, et temps perdu.		9"
Total.	2'	34"

Ces résultats sont assez d'accord avec ceux que l'on a déduits en 1838 des expériences faites au barrage d'Épineau; néanmoins il existe une différence dont on se rend aisément compte, en remarquant que ces premières

expériences ont été faites sous une charge d'eau qui ne dépassait pas 1^m.28, tandis qu'on a presque toujours opéré depuis sous la pression d'une hauteur d'eau qui s'est quelquefois élevée jusqu'à 1^m.90. Mais ce qui est surtout à remarquer, c'est que l'enlèvement des aiguilles prend 2' sur 2' 34'', c'est-à-dire à peu près les $\frac{1}{3}$ de tout le temps employé.

On peut donc conclure de ce fait, que si l'on évitait d'arracher les aiguilles une à une et à la main, on réaliserait une grande économie sur le temps de la manœuvre.

L'enlèvement des aiguilles à la main et une à une, est assez facile, quand il se fait en plein jour, et sous une pression qui n'est pas trop forte; mais aussi les difficultés croissent si rapidement avec la charge qu'il faut une certaine habileté et un solide point d'appui, quand la différence des niveaux de l'eau à l'amont et à l'aval dépasse 2 mètres, et surtout quand le débouchage doit avoir lieu la nuit. C'est ce qui avait fait redouter jusqu'à présent d'ouvrir les barrages de nuit et de leur donner plus de 2 mètres d'élévation au-dessus de leurs radiers. On éluderait donc encore cet autre inconvénient, en se dispensant d'enlever les aiguilles.

Les conséquences probables de la suppression de cette partie de la manœuvre seraient donc :

1° Économie de temps; 2° facilité pour les manœuvres de nuit; 3° possibilité de donner aux aiguilles, et par suite aux fermettes des barrages, une plus grande hauteur.

Mais aussi cette modification ne peut avoir lieu qu'autant que les nouvelles manœuvres seront commodés, faciles, et présenteront surtout la plus grande sécurité.

Premiers essais faits pour abréger la manœuvre du débouchage. — Changements généraux introduits dans la forme et la disposition des fermettes. — La solution de cette question me paraissait tellement importante, que je n'ai cessé de m'en occuper depuis l'exécution du barrage

d'Épineau. A la fin de 1839, je fis l'essai de deux systèmes, dont l'un avait été inventé par le sieur Longbois, constructeur des fermettes de ce barrage, et auquel j'ai renoncé parce qu'il n'offrait pas assez de sécurité et de solidarité entre les fermettes. Pendant l'année suivante, j'ai modifié celui que j'avais aussi adapté à quelques fermettes du barrage d'Épineau; en 1841 j'obtiens de M. le sous-secrétaire d'état des travaux publics l'autorisation de l'appliquer à l'un des barrages que je construisais alors sur l'Yonne; et je fis choix du barrage de Saint-Martin; c'est ainsi que toutes les fermettes de la passe ont été forgées d'après un nouveau système. En même temps M. le sous-secrétaire d'état avait approuvé les changements suivants pour tous les barrages que j'avais à exécuter :

1° La hauteur des fermettes est fixée 2^m.25, de manière qu'elles sont saillie de 2^m.10 au-dessus des radiers (les fermettes d'Épineau n'ont que 2^m.13 de hauteur, et ne s'élèvent au-dessus du radier que de 2 mètres).

2° La distance entre les axes des fermettes est de 1^m.10. (Cette distance pour les fermettes d'Épineau n'est que d'un mètre.)

3° Les équerrres que les fermettes anciennes portaient à l'aval, sont supprimées et remplacées par le prolongement du montant.

L'équarrissage de la base des fermettes est de 0^m.04 sur 0^m.06 au lieu de 0^m.04 sur 0^m.04.

4° Les barrages sont disposés de manière qu'on peut en coucher les fermettes, soit à droite, soit à gauche; ce qui a conduit à faire des travées de 2 mètres entre les dernières fermettes et les parements de la pile et de l'épaulement.

5° Deux estacades en bois de 40 mètres de longueur chacune, et disposées parallèlement au courant, accompagnent l'épaulement à l'amont et à l'aval.

Du reste, les barrages et les fermettes ont conservé la

forme et les dispositions dont on a donné les détails pour le barrage d'Épineau (5).

Ces changements ont procuré quelques avantages appréciables ; ainsi la hauteur des retenues est augmentée de 0^m.10 ; on a supprimé sept fermettes par barrage ; et l'on a économisé sur le temps du débouchage de la passe, les quelques minutes qu'il faut pour abattre quatre fermettes, et enlever leurs barres avec les planches du pont de service.

Disposition générale du barrage de Saint-Martin.—Le barrage de Saint-Martin a 70 mètres de largeur, des fermettes de 2^m.25 de hauteur espacées d'axe en axe de 1^m.10, et dont la saillie au-dessus du radier du barrage est de 2^m.10. Moitié de ces fermettes sont faites d'après l'ancien système, et sont placées dans la partie du barrage qu'on ne manœuvre pas à chaque écluse ; elles se lèvent, s'accrochent entre elles, et se couchent d'après la méthode ordinaire, Pl. 44, fig. 4.

Les autres fermettes sont à échappements, c'est-à-dire que chacune d'elles porte un mécanisme dont je donnerai ci-après la description, et qu'elles sont réunies entre elles par des barres de fer de forme particulière. La dernière de ces fermettes se relie à l'épaulement par une barre de 2 mètres de longueur qui tourne d'un bout sur un pivot scellé dans la maçonnerie, et porte à l'autre un crochet mobile que l'on fait entrer dans une chape horizontale adaptée à cette fermette, fig. 1, 2 et 7. Quand toutes les fermettes sont levées et réunies entre elles à l'épaulement et à la pile, on appuie contre leurs barres des aiguilles en bois de chêne ou de sapin, dont le pied s'applique contre le heurtoir du radier. Les aiguilles qui ferment la passe, et qui, par conséquent, correspondent aux fermettes à échappement, portent toutes en tête un anneau en fer.

(5) Annales, *Mémoires et documents*, 1^{re} série, 1^{er} semestre, t. XVII, 1839, p. 238.

Elles sont, en outre, groupées en autant de panneaux qu'il y a de travées formées par les fermettes, et chacun de ces panneaux est renfermé, au niveau des barres, entre les parties saillantes des fermettes, et en pied, entre deux taquets en fer placés sur le heurtoir, au droit de chaque fermette. Ces taquets ont chacun de 0^m.06 à 0^m.07 de saillie parallèlement au courant, contrebutent solidement le pied des aiguilles qui s'appuient contre eux, et les empêchent ainsi de glisser vers la passe, quand on débouche le barrage, *fig. 1 et 2.*

Les chaînes de traction sont attachées aux chapes, et pendent en aval des barres et des aiguilles, *fig. 1 et 2.*

Un grand câble s'étend à l'aval des fermettes du barrage, depuis la pile jusqu'à l'épaulement. Sur ce câble on a enté autant de cincenelles qu'il y a de travées dans la passe; chacune de ces cincenelles est passée sous la barre de la travée à laquelle elle correspond, et de là dans les anneaux de toutes les aiguilles de cette travée; elle s'attache à la dernière par un nœud de marinier, *fig. 1 et 2.*

Enfin, il y a pour chaque travée un pont mobile, composé de trois planches de sapin, *fig. 2.*

Description des échappements et des barres de réunion des fermettes. — On peut examiner maintenant les fermettes à échappement, et leurs barres de réunion.

Chaque fermette, *fig. 8, 9 et 10*, porte à l'amont un goujon vertical *a*, dont la base a 0^m.05 de diamètre, et 0^m.035 de hauteur, et dont la partie saillante a 0^m.035 de diamètre et 0^m.10 de hauteur. Ce goujon sert aussi comme boulon à réunir le bracon et la tête de la fermette.

La chape dans laquelle s'amarrent les chaînes de traction, a son ouverture placée perpendiculairement au courant, et porte à sa base un excentrique *b* dont la pointe est recourbée de manière qu'elle fait saillie au-dessus de la semelle de l'excentrique de 0^m.05 à 0^m.06, et par suite de 0^m.08 à 0^m.09 au-dessus de la tête de la fermette, parce

que cette semelle a 0^m.03 d'épaisseur. Cette chape et son excentrique sont d'une seule pièce, et tournent ensemble sur le goujon qui les boulonne à la tête de la fermette.

Derrière la chape, dans une échancrure pratiquée à la culasse de l'excentrique, il y a une clé *c* qui s'enfonce dans un trou quarré percé dans la tête de la fermette; la tige de cette clé est quarrée à sa partie supérieure, sur une longueur de 0^m.04, et cylindrique sur le reste de sa longueur; elle se termine par une petite poignée, et porte sur le côté un talon *d* qui remplit toute l'échancrure de l'excentrique. Enfin, on a placé à l'opposé de ce talon *d* un petit taquet *e*, prisonnier dans la tête de la fermette, dont la fonction est de limiter de son côté la course de l'excentrique.

La barre de réunion de deux fermettes *f* a un œil *g* à un bout, et se termine à l'autre par un crochet cylindrique *i*; à l'extrémité de ce crochet, il y a un talon saillant *h*; autour de l'œil de la culasse de la barre et en-dessous, on doit remarquer un évidement circulaire *k*. Cette barre n'est pas plane; elle a sur toute sa longueur une pente totale de 0^m.03, *fig.* 8.

Manœuvre pour réunir entre elles les fermettes à échappement. — Ceci posé, voici comment on attache l'une à l'autre les fermettes d'une même travée.

On se sert d'abord d'une barre à manche ordinaire, *fig.* 3, dont une des mâchoires s'adapte sur la fermette déjà fixée, et l'autre prend la tête de celle qu'il est question de lui réunir, et que les éclusiers relèvent préalablement à l'aide de la chaîne de traction: on la maintient ainsi provisoirement dans une position à peu près verticale; on glisse ensuite le goujon de la première fermette dans l'œil d'une barre, en même temps qu'on embrasse avec le crochet de cette barre, la base du goujon de la fermette suivante; puis l'éclusier tourne la chape de cette fermette, pour que la pointe de son excentrique vienne contrebuter le

crochet de la barre, et maintient l'excentrique invariable de position, en plaçant la clé *c* de manière que son talon *d* se loge dans l'échancrure de la culasse de l'excentrique; il enlève alors la barre à manche et passe à la fermette suivante qu'il attache de même.

Il est à remarquer que les barres de réunion sont placées à recouvrement les unes sur les autres, de sorte que le talon relevé *h* de l'une d'elles pénètre dans l'évidement circulaire *k* de la suivante. Cette disposition rend les travées du barrage tellement solidaires entre elles, qu'on n'a point à redouter la malveillance ou la négligence, car on ne peut enlever une barre quelconque, sans qu'au préalable celle qui la recouvre n'ait été ôtée; et dans le cas où il serait possible de tourner l'excentrique, la barre qui cesserait d'être contrebutée ne s'échapperait pas pour cela, parce que son talon *h* serait arrêté par le rebord de l'évidement *k* dans lequel il est entré.

On peut donc se représenter aisément la passe fermée par les aiguilles appuyées contre les barres à échappement et contre la barre tournante de l'épaulement.

Manœuvre pour ouvrir la passe d'un barrage à échappements. — Pour ouvrir cette passe, l'éclusier débouche d'abord la travée de 2 mètres voisine de l'épaulement, et successivement toutes celles qui suivent, en opérant comme je vais le décrire.

Il commence par ôter le pont de service de cette travée de 2 mètres, prend sa barre à manche, dont le bout est terminé en pince de maçon, ou simplement un petit levier en bois, en glisse le bout sous le mentonnet *l* que porte sur le côté le crochet mobile de la barre tournante, *fig. 5* et *6*, pèse sur ce levier, et fait sortir, sans un bien grand effort, le crochet de la chape horizontale de la première fermette, dans laquelle il était engagé: aussitôt la barre pivote, et va se ranger en tournant avec une extrême vitesse, dans une feuillure pratiquée dans l'épaulement, *fig. 7*, en

même temps que les aiguilles emportées par le courant flottent sur l'eau , attachées au bout de la cincenelle passée dans leurs anneaux.

Les échappements des fermettes se manœuvrent autrement.

L'éclusier place sa barre à manche sur les semelles des excentriques , de manière qu'il enraye l'excentrique de la première fermette (celle à abattre) avec celui de la suivante , en en prenant les deux semelles entre les mâchoires de cette barre : il tire ensuite de toute sa longueur la clé *c* de l'excentrique de cette première fermette , dégage ainsi le talon *d* , lui fait faire un quart de révolution , et le renfonce dans son trou ; il enlève le pont de service et le passe à son aide , dégage les excentriques enrayés en enlevant sa barre à manche , et frappe avec l'extrémité de la barre la pointe recourbée de l'excentrique de la fermette à abattre : aussitôt l'excentrique tourne sur son pivot , et s'écarte de toute la longueur qu'occupait le talon *d* dans l'échancrure de sa culasse. La barre de réunion poussée par les aiguilles tourne aussi sur le goujon *d* de la deuxième fermette ; mais comme il n'y a pas assez de place entre le goujon et la semelle de l'excentrique placée en oblique de la première fermette , pour que le crochet de la barre de réunion puisse passer , ce crochet pousse cette fermette hors de la verticale , la renverse , et vient se ranger aux pieds de l'éclusier , *fig. 8 bis* ; dans le même temps les aiguilles , emportées par le courant , glissent au bout de leurs cincenelles et flottent sur l'eau ; tandis que la fermette tombe dans l'encastrement du radier. L'éclusier ôte alors la barre de réunion et la passe à son compagnon , puis il mesure si la fermette échouée est bien à fond , au moyen de la chaîne de traction et de l'anneau régulateur. Il procède ensuite pour la deuxième fermette , comme il a fait pour la première ; c'est-à-dire qu'il enraye l'excentrique de la deuxième fermette avec

celui de la troisième, tourne la clé de l'excentrique de cette deuxième fermette, enlève son pont de service, dégage l'excentrique enrayé, et le frappe en retirant sa barre à manche; la barre de réunion pivote sur le goujon de la troisième fermette, abat, dans son mouvement de rotation, la deuxième fermette; celle-ci tombe, et les aiguilles sont entraînées par la force de l'eau.

La même manœuvre continue jusqu'à ce que la passe soit entièrement libre. A mesure qu'elle s'élargit, le flot diminue de violence, et rejette le faisceau des aiguilles nageant à la surface, du côté de la rivière où la partie non débouchée du barrage rend l'eau à peu près stagnante.

Quand le flot est passé, les éclusiers s'approchent des aiguilles avec leur bateau porteur, les retirent successivement de l'eau, ainsi que les cincenelles et le câble principal, rangent les aiguilles, roulent les cordes, en un mot disposent tout pour être en mesure de recommencer la manœuvre quand on le leur commandera.

Détails pour mieux faire comprendre le mécanisme d'un excentrique. — Quelques mots sont encore nécessaires pour faire bien comprendre le mécanisme de cette petite machine, la corrélation et l'utilité de toutes ses parties.

L'excentrique de chaque fermette est calculé et placé de manière qu'un plan vertical passant par l'axe de son pivot et le milieu de sa pointe, ne coïncide pas avec celui qui serait dirigé suivant l'axe longitudinal de la tête de la fermette; il fait au contraire avec lui un angle extrêmement aigu, du côté opposé à celui vers lequel on tourne l'excentrique, quand on abat la fermette, de sorte que l'excentrique poussé de ce côté par la pression même des aiguilles ne peut tendre à s'ouvrir seul; mais aussi, comme cette pression, en agissant toujours dans le même sens, ferait porter le bord de l'échancrure de la culasse contre la clé *c*, et empêcherait ainsi qu'on ne pût l'ouvrir aisément, on a placé en avant de la clé, le taquet *e* prisonnier

dans la tête même de la fermette ; et c'est sur ce taquet seul que vient s'amortir l'effet de la pression.

Néanmoins il peut arriver, par suite des oscillations qu'éprouve le barrage quand on le ferme , de l'usure de la pointe de l'excentrique , et surtout du jeu des diverses pièces entre elles , que l'excentrique ait une position inverse de celle que je viens d'indiquer, et presse par suite le talon *d* de la clé *c* ; mais comme, dans ce cas , l'axe de l'excentrique est presque confondu dans un plan vertical avec celui de la tête de la fermette , et qu'il faut un très-faible effort pour ramener l'excentrique dans une position convenable , l'éclusier se contente de le frapper légèrement avec sa barre à manche , jusqu'à ce qu'il soit assez renversé pour rendre la clé *c* tout à fait libre ; quelquefois même ses mains lui suffisent.

L'expérience a démontré la nécessité de relever la pointe de la semelle de l'excentrique de 0^m.07 à 0^m.08 ; d'abord le coup donné par l'éclusier est plus assuré ; mais on prévient surtout ainsi l'accident qui arriverait , si la barre de la travée à ouvrir remontait , dès qu'elle est affranchie de celle qui la recouvre , au-dessus de la pointe de l'excentrique qui en presse le crochet ; accident d'autant plus grave que la fermette cédant à son impulsion s'abattrait , et entraînerait dans sa chute le pont de service et l'éclusier qui pourrait s'y trouver.

Ce soulèvement de la barre qui tout d'abord paraît impossible à cause de la composante de la pression des aiguilles qui agit normalement sur elle , peut cependant se produire par les causes que voici :

1° Si la barre est mal cambrée , et si on l'a un peu forcée en la mettant en place.

2° Si le goujon sur lequel elle pivote n'est pas vertical , et surtout s'il est un peu rejeté en arrière.

Dans l'un et l'autre cas , en effet , le crochet de la barre tend à remonter au-dessus du niveau supérieur de la se-

melle de l'excentrique, en vertu de la force d'élasticité qui se développe, dès que la barre dont la culasse le recouvre est enlevée.

3° Quand les aiguilles d'une travée sont emportées par le courant, le cincenelle de la travée suivante se tend subitement, et comme elle passe dessous la barre qui soutient les aiguilles, elle exerce contre elle, et par dessous, une pression assez grande quelquefois pour la soulever.

Il est facile de comprendre combien les taquets du heurtoir qui contrebutent le pied de la première aiguille de chaque travée sont utiles; car autrement, quelques aiguilles, cédant à l'impulsion oblique du courant, seraient entraînées dans la passe, et paralyseraient tout à fait l'action de l'échappement; tandis qu'en les maintenant en place, le courant les réunit toutes en faisceau, et les jette par-dessus la chaîne de traction, à l'instant où l'excentrique dégage la barre qui les soutient, et chasse la fermette hors de la verticale. Au reste, des expériences nombreuses ont démontré leur utilité indispensable, et ont fait reconnaître qu'on pouvait en limiter à 0^m.06 ou 0^m.07 la saillie dans un seuil parallèle au courant: il faut encore que ces taquets se recourbent vers le radier, et y touchent à peu près, pour éviter que des herbes ou des racines roulant au fond des eaux ne s'y arrêtent.

Il est à remarquer que la passe peut s'ouvrir par la méthode ancienne, quoique toutes les fermettes soient munies d'échappements: c'était, suivant moi, une condition importante à remplir, parce qu'il peut survenir telle circonstance où il soit inutile où même impossible de se servir des échappements. Dans ce cas la manœuvre se fait comme pour les autres barrages; les aiguilles s'enlèvent une à une et à la main; puis on décroche les fermettes, et on en enlève successivement les barres de réunion et le pont de service.

Quoique le mécanisme des excentriques soit fort sim-

ple, on pourrait craindre qu'il ne fût promptement altéré par un séjour prolongé dans l'eau, ou par l'usure même qu'occasionnent ses mouvements; mais il n'en est rien; car il est resté tout l'hiver dernier couché dans l'encastrement, et il a manœuvré toute la campagne sans qu'on ait eu à lui faire la moindre réparation.

Temps employé à ouvrir une passe de 35 mètres dans un barrage à échappements. — Les manœuvres du barrage de Saint-Martin, pendant toute la campagne dernière, et presque toujours de nuit, ont prouvé d'une manière incontestable la supériorité de ce système sur l'ancien; les deux éclusiers et le cantonnier de la station, guidés par le meneur d'eau (6), mettent pour ouvrir la passe sous une charge d'eau quelconque de 16 à 20 minutes, manœuvrent sans efforts et avec la plus complète sécurité.

Système d'éclairage. — Le système d'éclairage dont se servent les éclusiers, consiste en quatre lanternes, ayant chacune un champignon à trois becs: on les suspend isolément à de petites tiges en fer, terminées chacune par une douille que l'on enfonce sur les goujons ou les montants des fermettes; à mesure que la passe s'élargit, on recule les lanternes: deux servent à éclairer l'éclusier qui fait partir les échappements, et les deux autres éclairent les aides qui emportent les barres et les planches du pont de service, et les font glisser dans le bateau porteur.

Le nouveau système fait toujours tomber du premier coup les fermettes au fond de l'encastrement. — Un des avantages les plus remarquables, je dirais volontiers le plus grand, du système des échappements, c'est de pouvoir échouer les fermettes avant que le courant n'ait amené des sables ou des graviers dans l'encastrement. Quand on enlève les aiguilles à la main, il s'établit nécessairement dans

(6) On appelle ainsi l'agent qui suit l'éclusee et fait ouvrir les barrages en temps convenable.

les endroits ainsi débouchés un courant rapide qui entraîne les sables, les graviers et les corps étrangers amassés en amont du barrage, ou tombés à fond d'eau : la plupart franchissent, il est vrai, l'encastrement, mais d'autres s'y arrêtent, et pourraient empêcher les fermettes de se coucher exactement, si on n'avait le soin de les broyer sous le poids des fermettes elles-mêmes, de les enlever avec des crochets, en un mot de s'en débarrasser par tous les moyens possibles. Dans le nouveau système, au contraire, les fermettes s'abattent presque en même temps que le pied des aiguilles quitte le heurtoir, de sorte qu'elles atteignent le fond de l'encastrement, avant même que les graviers ou les corps fondriers mis en mouvement ne soient arrivés auprès du radier ; et comme d'ailleurs le courant qui se forme à la place des travées ouvertes est très-rapide, ces corps sont entraînés presque instantanément au delà du radier du barrage. Les expériences de toute l'année se sont réunies pour consacrer, comme un fait remarquable, que toujours les fermettes de Saint-Martin sont tombées en place, tandis qu'aux autres barrages, surtout à ceux qui comme lui ont été achevés en 1841, il est quelquefois arrivé que des corps étrangers ont devancé les fermettes dans l'encastrement.

Précautions à prendre pour bien exécuter le débouchage. — Cependant la manœuvre des barrages par échappements n'est pas exempte de petits accidents que l'on peut au reste éviter en prenant quelques précautions, mais qu'il est bon de connaître pour s'en garantir.

Si donc on commence à déboucher la passe sans arracher préalablement quelques aiguilles dans chaque travée de la partie fixe du barrage, le courant prend une obliquité telle, entre l'épaulement et la dernière travée qui reste debout, qu'il se forme au pied même de sa fermette un *angle mort*, dans lequel les aiguilles de la travée précédente peuvent tomber ; quand elles y sont, elles s'appli-

quent avec tant de force contre les montants de la fermette, qu'il faut en repousser quelques-unes dans le courant avec un croc, ou de toute autre manière, afin qu'elles entraînent les autres. Si cet accident arrive aux travées les plus rapprochées de l'épaulement, on a besoin de déployer une certaine force pour dégager les aiguilles; mais partout ailleurs il suffit de secouer la chaîne de traction sur laquelle elles sont couchées; souvent même elles se dégagent seules, au bout de quelques secondes, parce que dans l'agitation qu'elles éprouvent, il en est quelques-unes qui atteignent les filets liquides qui bordent l'angle mort dans lequel elles se trouvent à l'abri du courant.

Ces accidents se présentent rarement, parce que les éclusiers savent les éviter; mais quand la rivière charrie en grande quantité des joncs, des branches ou des bois fondriers, ils sont un peu plus fréquents. Ces corps flottants relient, pour ainsi dire, entre elles les aiguilles de chaque travée, les roulent en faisceau, et empêchent ainsi le courant d'agir avec efficacité sur l'espèce d'éventail qu'elles forment quand elles échappent.

Dans ces circonstances, dont les époques sont connues, les éclusiers ont le soin d'enlever avec des crocs les corps étrangers qui pourraient gêner les manœuvres, et ôtent un peu plus d'aiguilles dans la partie fixe.

Il ne faut pas au reste s'exagérer l'importance de ces petits accidents, car on a constaté qu'aucun d'eux n'allongea le temps de la manœuvre de plus de une ou deux minutes; et c'est à peine si l'on en a signalé deux ou trois dans les circonstances les plus défavorables: maintenant ils se présentent si rarement qu'on n'y fait plus attention.

On doit encore se garder d'ôter trop d'aiguilles dans la partie fixe du barrage, parce qu'il s'établit alors, de ce côté, un courant qui dans sa rencontre avec celui de la passe, forme un tournoiment qui ramène les aiguilles flottantes jusque sur l'encastrement, alors même que toute

la passe n'est pas ouverte, de sorte qu'il faut les écarter avec des crocs, pour achever d'échouer le reste des fermettes.

Primitivement j'avais fait enter toutes les cincenelles sur le même câble, mais j'ai bien vite reconnu qu'il valait mieux avoir deux câbles. L'un porte toutes les cordes de la moitié des travées de la passe, l'autre est chargé de la seconde moitié.

Poids d'une fermette à échappement et de sa barre. — Les fermettes à échappement et leurs barres sont manœuvrées très-aisément par deux hommes, et ne pèsent pas beaucoup plus que les barres et les fermettes de l'ancien système; en effet:

Une fermette à échappement de 2^m.25 de hauteur, ayant uniformément 0^m.04 d'équarrissage, si ce n'est pour la base, dont kilog.
les dimensions en quarré sont 0^m.04 sur 0^m.06, pèse. 148.46

Une fermette de mêmes dimensions, mais sans échappement, pèse. 143.10

Le poids d'une fermette du barrage d'Épineau, dont la hauteur est 2^m.13, et l'équarrissage général 0^m.04 sur 0^m.04, est. . 137.50

Une barre de fermette à échappement, ayant 1^m.16 de longueur, 0^m.03 sur 0^m.06 d'équarrissage, pèse. 17.30

La même barre, pour une fermette sans échappement, pèse. 16.76

Enfin à Épineau, chaque barre n'a que 1^m.06 de longueur et 0^m.03 sur 0^m.05 d'équarrissage, et pèse. 14.22

Approbation unanime donnée au système des échappements par la commission chargée de faire des expériences sur les barrages mobiles. — La commission, réunie à Joigny en octobre dernier, disait, dans son procès verbal, au sujet du système des échappements: « Tandis que quatre hommes mettent en plein jour de 40 à 45 minutes pour ouvrir une passe de 35 mètres dans les barrages ordinaires, nous avons constaté qu'une passe égale a été débouchée de nuit dans le barrage de Saint-Martin, qui est pourvu d'échappements, le 21 octobre en 16 minutes, et le 22 en 22 minutes; nous avons constaté également qu'en 11 minutes on a ouvert une passe de 20 mètres, dans laquelle les bateaux ont pu se lancer. Cette

rapidité dans la manœuvre est un avantage inappréciable, dont il importe de tirer immédiatement parti, en adaptant des échappements à tous les barrages mobiles. »

CONCLUSIONS.

Ne peut-on pas déduire de ces faits les conséquences suivantes ?

1° Les fermettes des barrages mobiles peuvent avoir, sans inconvénients, une hauteur plus grande que celle que l'on avait d'abord limitée à 2 mètres : rien ne paraît s'opposer à ce qu'elles aient au moins 3 mètres ;

2° Quelle que soit la hauteur des barrages, deux ou trois hommes peuvent ouvrir, sans danger et sans fatigue, un mètre courant en moins d'une minute ;

3° La manœuvre peut se faire avec une égale facilité, la nuit ou le jour ;

4° Les barrages mobiles déjà si appréciés peuvent être appliqués avec des chances de succès plus grandes encore que par le passé, à l'amélioration de la navigation des fleuves et des rivières importantes.

Explication de la planche 44.

La *fig. 1* représente le barrage vu d'amont ; les fermettes sont levées et réunies entre elles par leurs barres ; une travée est fermée par les aiguilles ; dans leurs boucles passe la cincenelle qui les rattache au grand câble. Sur le côté gauche de la même figure on remarque la barre tournante de l'épaulement ; une coupe des maçonneries de cet épaulement fait voir le pivot et l'arbre de cette barre.

La *fig. 2* donne le plan de la même partie du barrage ; aux détails que la *fig. 1* représente en élévation, et qui sont projetés sur la *fig. 2*, il faut ajouter le pont de service en planches de sapin, et les boucles des cincenelles sur le grand câble ; en outre on y a indiqué en lignes ponctuées, la position de la barre de l'épaulement à l'instant où elle se trouve sur son pivot, et celle d'une des barres de réunion de deux fermettes, quand l'excentrique l'a fait échapper. On doit encore remarquer sur cette figure, le collier supérieur de l'arbre de la barre tournante, qui s'ouvre à volonté, de sorte qu'il est facile d'enlever ou de reposer cette barre ; le crochet d'arrêt qui la maintient dans la feuillure de l'épaulement ; enfin les taquets placés sur le heurtoir au droit de chaque fermette, et qui contrebutent le pied des aiguilles.

La *fig. 7* complète la description de la barre tournante ; elle y est dessinée rangée dans la feuillure de l'épaulement.

La *fig. 3* donne le plan et l'élévation de la barre à manche qui sert à lever les fermettes et à enraier les excentriques avant qu'on ne les ouvre, et dont l'extrémité terminée en pince de maçon sert à dégager le crochet de la barre tournante de l'épaulement.

La *fig. 4* est le plan général du barrage : une partie des travées est déjà ouverte, les aiguilles flottent à l'aval, et les fermettes sont couchées dans l'encastrement ; pour le reste de la passe encore bouché, on voit les cincinelles entées sur le grand câble, qui est attaché à la pile. Les travées qui forment la partie fixe du barrage, ne s'ouvrant pas par échappements, sont sans cincinelles.

Les *fig. 5* et *6* représentent les détails de l'extrémité de la barre tournante, et de sa réunion avec la première fermette. Cette réunion se fait par un gros crochet qui pénètre dans une chape horizontale adaptée à cette fermette. Ce crochet porte sur le côté un mentonnet *l*, sous lequel on glisse la pince ou le levier dont on se sert pour le soulever ; il est disposé de manière qu'il peut s'élever au-dessus de l'horizontale, mais ne pas tomber au-dessous, afin qu'il entre toujours bien dans la feuillure de l'encastrement et ne racroche pas la cincinelle des premières aiguilles.

La barre se prolonge presque jusqu'à la fermette et supporte seule la pression immédiate des aiguilles qui, sans cela, s'exercerait sur le crochet et empêcherait que le jeu n'en soit libre et facile. L'extrémité de la barre s'appuie légèrement sur le bord de la chape horizontale : on est certain ainsi qu'elle glissera toujours dessus, et ne la heurtera jamais en tournant.

On voit encore dans ces figures comment la tête de cette première fermette sert de point de réunion à la barre tournante, et à toutes les barres qui contrebutent les excentriques des autres fermettes.

Les *fig. 8, 9* et *10* donnent les détails du mécanisme des excentriques, savoir : la *fig. 8* en élévation, la *fig. 9* en plan, et la *fig. 10* latéralement ; afin de les rendre encore plus faciles à comprendre, on a supposé que les chaînes de traction étaient retirées des chapes.

La *fig. 9* représente deux fermettes attachées par la barre de réunion ; à droite est l'œil que pénètre le goujon d'une des fermettes, en élévation dans les *fig. 8* et *10* ; et à gauche, le crochet de cette barre, embrassant la base du goujon de la deuxième fermette : on y peut voir le talon *h* qui termine ce crochet relevé et contenu dans l'évidement *k* creusé dans la culasse de la barre qui le recouvre. Cette pénétration est surtout bien indiquée dans la *fig. 10*, et à droite dans la *fig. 8*. On doit remarquer encore dans cette même *fig. 8* que les deux parties de la barre supposée brisée en son milieu ne sont pas de niveau, parce qu'ainsi qu'on l'a dit, les barres étant posées à recouvrement, ont sur toute leur longueur une pente totale égale à leur épaisseur.

La *fig. 9* montre les excentriques contrebutant les barres de réunion, et maintenus invariables de position par les talons *d* des clés de sûreté, qui remplissent les échancrures de leurs culasses. La *fig. 10* fait voir l'une de ces clés en élévation : pour ne pas compliquer la figure, on l'a représentée terminée par un manche recourbé horizontalement, mais en réalité elle l'est par une petite poignée renversée en forme de

boucle, qui est plus commode, et ne gêne pas pour placer le pont de service.

La *fig. 9* indique aussi le petit prisonnier *c* qui limite la course de l'excentrique de son côté, et l'empêche ainsi de presser contre la clé.

La *fig. 8 bis* représente l'excentrique ouvert et la barre de réunion s'échappant : on y voit que la clé *C* a fait un quart de révolution, et que, pour se frayer un passage, la barre doit chasser la fermette hors de la verticale.

Enfin, la *fig. 11* est le dessin d'une des lanternes et de son support.

Sens, le 10 novembre 1842.

2° NOTE SUR LE SYSTÈME D'ÉCHAPPEMENT APPLIQUÉ AU BARRAGE MOBILE DE LA MORUE;

Par M. CHARLES POIRÉE, Ingénieur des ponts et chaussées.

Un système d'échappement permettant d'ouvrir les passes des barrages mobiles avec facilité et promptitude, fut proposé en 1841 à l'administration, par M. Chanoine. Le projet de cet ingénieur fut soumis à l'examen de M. l'inspecteur divisionnaire Poirée, qui en approuva toutes les parties, mais qui fut cependant naturellement amené à compléter quelques études qu'il avait déjà faites sur un mode d'échappement dont le principe lui paraissait plus simple. Dès lors, M. Poirée dut demander qu'on autorisât à la fois M. Chanoine à appliquer son projet aux fermettes du barrage d'Épineau, et les ingénieurs de la navigation de la Seine à faire, sur le barrage de la Morue, l'épreuve des dispositions qu'il présentait. Cette proposition fut adoptée par le conseil général des ponts et chaussées, et, en 1842, on a pu soumettre simultanément à l'essai les deux systèmes d'échappement.

Nous devons rendre compte des expériences qui ont été faites sur le barrage de la Morue, dans une notice que nous avons préparée sur l'historique des travaux de la dérivation de Marly; mais la commission des Annales ayant reçu, avant que nous ayons pu la terminer, un mémoire de M. Chanoine sur son échappement, et ayant jugé convenable de publier en même temps les résultats obtenus dans

les deux systèmes, nous nous sommes déterminé à donner ici par avance une description sommaire de l'échappement imaginé par M. l'inspecteur divisionnaire Poirée.

Manœuvre du barrage, dans le système ordinaire, pour faire une passe. — Deux fermettes consécutives du barrage mobile de la Morue sont reliées entre elles, dans le système ordinaire, par une griffe posée en amont, et dans les œillets de laquelle pénètrent deux tourillons horizontaux établis en prolongement des traverses supérieures. Cette griffe sert d'appui à la tête des aiguilles dont le pied est arrêté par une des longrines du grillage encastré dans l'encaissement du radier. Trois planches de passerelle, une seconde griffe à œillet, Pl. 45, fig. 7, reçue en aval par des prolongements verticaux des montants des fermettes, et une chaîne de 6 mètres de longueur allant d'une traverse supérieure à l'autre, complètent l'ensemble de toutes les parties d'une travée. Pour abaisser la première fermette de cette travée, il faut donc enlever d'abord les aiguilles à la main et les transporter soit sur un bateau destiné à les recevoir, soit sur la partie du barrage qui doit rester fixe; ôter ensuite les griffes d'amont et d'aval, après avoir relié provisoirement les fermettes par une petite griffe à mâchoires très-légère et facile à manier, fig. 7 bis; puis retirer les planches du pont de service, et enfin lever la petite griffe et laisser descendre la fermette en la soutenant un peu avec la chaîne. La partie de cette manœuvre qui entraîne quelques lenteurs est celle qui consiste à transporter au loin les aiguilles, les griffes et les planches de passerelle, et sa durée dépend du nombre d'ouvriers qu'on emploie. En général, 40 à 50 minutes sont nécessaires pour ouvrir une passe de 30 mètres avec trois hommes.

Il est évident, d'après cela, que le système d'échappement le plus parfait est celui qui ne doit laisser aux barragistes aucune pièce à emporter; aussi M. l'inspecteur

divisionnaire Poirée s'est - il efforcé d'atteindre ce but ; et nous pensons qu'il s'en est approché autant que possible en adoptant les combinaisons suivantes :

Description générale du système d'échappement de M. Poirée. — La griffe d'amont est remplacée par une planche P, *fig.* 1, posée horizontalement sur les têtes des fermettes, et maintenue du côté d'aval par des chapes C et C', fixées invariablement, contre lesquelles elle s'appuie pour supporter la pression des aiguilles. Cette planche relie en même temps les fermettes entre elles au moyen de broches telles que B'', *fig.* 3, 6 et 8, passant dans les œillets O, O', correspondant à des trous circulaires ménagés dans les traverses. Les œillets faits dans la planche présentent assez de jeu pour que les broches n'aient pas de pression à supporter et puissent être enlevées sans qu'on ait un frottement à vaincre. Les chapes sont arrondies du côté d'amont de manière à n'avoir qu'une arête de contact avec la planche dont les deux angles d'aval sont taillés circulairement. Une seconde planche P, nécessaire pour la manœuvre de l'abattage, et percée sur son grand axe au droit des traverses de deux ouvertures E, E', complète le pont de service et l'ensemble de toutes les pièces composant une travée. Les deux planches portent par dessous des taquets vus en projection en t, *fig.* 2, qui les empêchent de glisser en venant buter contre la tête de la fermette. Nous ferons remarquer que les abouts de deux planches consécutives d'un même cours, se superposent au-dessus d'une traverse, et qu'une même broche arrête par conséquent deux des planches remplaçant les griffes.

Une corde entrelacée dans les poignées des aiguilles passant dans un trou au travers de la planche P, et dans l'œillet d'un piton rivé sous la planche P, réunit entre elles toutes ces pièces, et va s'attacher à un câble fixé à une des dernières fermettes de la partie du barrage qui doit rester en épi.

Les chaînes servant à relever les fermettes, et qui sont accrochées dans les œillets des chapes C, C', C'', ont été supprimées dans les figures afin que la vue des pièces principales ne soit pas masquée; on s'est borné à en indiquer des amorces en *x*, *fig.* 1 et 8. Ces chaînes, lorsqu'on manœuvre l'échappement, peuvent être laissées naturellement pendantes entre les deux fermettes qu'elles relient, ou être rejetées en amont devant les aiguilles.

Manœuvre de l'échappement. — Pour examiner comment se fait l'abattage d'une travée T, *fig.* 6, il faut concevoir que la manœuvre des travées précédentes a dû conduire à enlever la broche placée en O, et à relier provisoirement les fermettes F et F' par la petite griffe à mâchoires. Le chef barragiste est muni, pour continuer l'opération, d'une griffe à levier, *fig.* 4, composée d'une partie coudée ADGH, terminée par une mâchoire A, et portant en D et H des coulisses dans lesquelles peut glisser une tige droite IK, qu'un levier LM peut faire avancer jusqu'à ce que le talon K touche la coulisse H. Ce levier est attaché par une charnière M à la tige mobile et passé au sommet B du coude de la première partie dans un œillet où existe tout le jeu convenable et contre les parois duquel il trouve son point fixe. Le barragiste est sur les planches de la travée T'; il saisit de là la petite griffe à mâchoires qu'il reporte sur les traverses des fermettes F' et F'', puis lorsque son aide a enlevé en O' la broche qui retenait encore la planche P, il saisit avec la mâchoire de la griffe à levier au travers des ouvertures des planches, la traverse de la troisième fermette F'', et il pousse en avant la tige mobile dont l'extrémité dans cette position butte contre l'about de la planche P. Cette planche, suivant le mouvement que lui donne la tige, agit par son taquet contre la tête de la fermette qu'elle fait tourner autour de sa base, de manière que l'arête de la chape arrive bientôt à être en contact avec la partie circulaire de la planche P; alors

la pression des aiguilles chasse cette planche et par suite la fermette, que l'impulsion renvoie dans le radier, tandis que tous les agrès que réunit la corde vont se ranger en aval.

On voit ainsi que deux hommes suffisent pour faire cette manœuvre, qu'il ne reste rien à emporter, et que l'opération du débouchage est faite aussi rapidement que possible. Il ne faut, en effet, que six minutes pour abattre trente travées ou faire une passe de 30 mètres; mais, en marchant avec cette rapidité, on ne peut s'assurer si les fermettes sont bien couchées dans le radier. Cette précaution est indispensable dans la manœuvre ordinaire, mais ne l'est pas lorsqu'on fait l'abattage par échappement, car les corps flottants sont appelés, dès les premiers instants, dans l'ouverture déjà faite, et ne peuvent pas être entraînés dans les montants des fermettes, qui ne restent jamais isolés; mais comme cependant il est convenable de la prendre, il faut laisser à l'aide le temps de tendre la chaîne de la fermette qui vient de tomber et de vérifier si un anneau apparent de cette chaîne correspond à la tête de la fermette encore levée, ainsi que cela doit arriver lorsque rien ne s'est opposé à la descente de la fermette. Dans ce cas dix minutes sont nécessaires pour l'ouverture d'une passe de 30 mètres.

En rétablissant la partie à échappement du barrage qui a été couchée, on est obligé de se servir des griffes d'aval ou de deux griffes à mâchoires. On relève la fermette *F*, *fig. 6*, avec la chaîne, on la saisit avec la petite griffe à mâchoires qui la relie provisoirement avec la précédente *F'*, puis on place les trois planches de passerelle, une griffe d'aval et une broche en *O'*; on ne peut en mettre de suite une autre en *O*, parce que cette dernière doit fixer en même temps la planche suivante. On conçoit facilement que cette condition exige l'emploi immédiat des griffes d'aval ou de deux griffes à mâchoires provisoires; une fermette ne

pouvant être définitivement assurée au moyen des broches qu'après le relèvement de la fermette et la pose de la planche qui suivent. On remet ensuite les aiguilles à la main suivant la méthode ordinaire.

Ce système d'échappement, dont la manœuvre consiste à pousser chaque fermette, ne peut être appliqué à la première travée du barrage dont les planches reposent sur une fausse tête de fermette invariablement scellée dans la maçonnerie. On est donc obligé de procéder au débouchage de cette travée en enlevant les aiguilles à la main. Mais cette circonstance ne nuit pas beaucoup à la rapidité de la manœuvre, les aiguilles étant jetées immédiatement sur la culée; d'ailleurs, l'ouverture du barrage ne devant avoir lieu qu'à une heure connue d'avance, on peut faire cette opération quelques instants avant le moment fixé, en même temps qu'on se débarrasse de toutes les griffes d'aval et des troisièmes planches de passerelle; ces agrès étant inutiles lorsqu'on exécute l'abattage par échappement, et n'ayant été nécessaires que pour faciliter la manœuvre du relèvement.

Cependant, comme une rapidité aussi grande que celle que nous avons annoncée, n'est généralement pas indispensable, nous pensons qu'il est prudent de conserver pendant l'abattage la griffe d'aval, et par suite la troisième planche de passerelle. En effet, le mode de liaison des fermettes entre elles, par les planches et les broches, présente un inconvénient que nous devons signaler : c'est de permettre que l'absence d'une ou de plusieurs broches provenant d'imprévoyance, d'accident ou de malveillance, divise le barrage en plusieurs parties indépendantes, n'ayant plus aucune liaison avec les culées. Dans ce cas, la manœuvre deviendrait dangereuse si les barragistes oubliaient de s'assurer, avant de commencer l'opération, si toutes les pièces de chaque travée sont bien à leur place. L'emploi des griffes d'aval, qui se superposent les unes sur les

autres, de telle façon que l'on ne peut ôter l'une d'elles sans avoir retiré celles qui précèdent, obvie à cet inconvénient. Ces griffes étant très-légères, leur enlèvement à chaque travée, par l'un des aides qui les transmet à l'autre, pour qu'il les transporte sur la partie du barrage restant en épi, n'apporte pas un grand retard dans la manœuvre, qui dure environ de 16 à 20 minutes pour la formation d'une passe de 30 mètres.

Les griffes d'aval ont encore une autre utilité. Lorsque la chute est faible, ce qui arrive généralement vers la fin de l'opération, la première fermette *F* d'une travée s'échappe quelquefois, sans qu'on lui donne d'impulsion, au moment où le chef barragiste lève la petite griffe provisoire, avant que l'aide ait ôté la broche en *O'*; de sorte qu'alors la fermette se couche, tandis que la planche reste en place avec une partie des aiguilles; il faut alors couper la corde, chasser les aiguilles avec un croc et enlever ensuite la planche à la main. Dans ce cas, la griffe d'aval assurant la solidité de la travée *T'* sur laquelle se trouvent les hommes, le chef barragiste n'est pas obligé de poser sa petite griffe provisoire sur les fermettes *F'* et *F''* avant l'enlèvement de la broche placée en *O'*; s'il éprouve une résistance en essayant de lever cette griffe, il donne l'ordre à l'aide d'ôter la broche, et l'échappement de la travée causé par le seul déplacement de la griffe n'est plus un inconvénient. Cette circonstance se présente quelquefois parce que le barrage étant relevé à partir de la pile, les fermettes ont toujours une légère inclinaison vers la culée et tombent naturellement de ce côté lorsqu'elles ne sont pas soutenues par une griffe ou par un frottement causé par la pression des aiguilles assez considérable.

Nous pensons qu'on pourrait, du reste, si on voulait conserver à peu près la grande rapidité de manœuvre que nous avons obtenue sans employer les griffes d'aval, remplacer l'usage de ces griffes par une chaîne qui remplirait

le même but. Cette chaîne présenterait à des distances convenables des anneaux dans lesquels pénétreraient les prolongements verticaux des montants des fermettes et l'aide au fur et à mesure de l'opération, ferait sauter dans la rivière, en aval, la partie de la chaîne correspondant à chaque travée à faire échapper. La manœuvre pourrait encore être faite ainsi avec deux hommes et sans transport d'agès.

L'emploi d'un système d'échappement permet de donner aux fermettes d'un barrage mobile une grande hauteur. —

Un système d'échappement, indépendamment de l'avantage qu'il présente en économie de temps sur la manœuvre ordinaire pour l'ouverture d'une passe, jouit encore d'une propriété remarquable qui suffirait seule pour le faire adopter. Il permet de donner aux fermettes et par conséquent aux retenues une hauteur plus considérable que celle qu'on peut atteindre en s'astreignant à faire les débouchages à la main. Car, cette hauteur est limitée dans ce dernier cas par la longueur qu'on peut donner à une aiguille pour qu'une homme puisse l'enlever facilement sous une forte charge sans la laisser entrainer par le courant dès qu'elle a dépassé le seuil du radier. Or, une aiguille, pour qu'elle satisfasse à cette condition, ne peut guère recevoir une longueur de plus 2^m.50 qui correspond à une retenue de 2^m.10 d'élévation au-dessus du seuil. Tandis qu'en employant un système d'échappement on pourrait facilement porter cette retenue à 3 mètres; on composerait alors le barrage mobile de deux parties dont l'une offrirait une passe d'une longueur et d'une profondeur au-dessous de l'étiage naturel déterminées par le régime de la rivière et les besoins de la marine, et dont l'autre présenterait un seuil sur lequel se trouveraient des fermettes ayant moins de 2^m.20 de hauteur. Les barragistes feraient alors sur cette dernière partie toutes les manœuvres nécessaires, soit en eaux moyennes pour faire des épis variables de

longueur, soit en eaux basses pour ajouter ou retrancher des aiguilles de manière à maintenir la rivière en amont à un niveau constant, soit au moment de la manœuvre pour diminuer la chute avant l'abattage des fermettes à échappement.

Description détaillée de quelques pièces faisant partie du système d'échappement. — Nous avons donné une description générale des pièces composant le système d'échappement, nous allons faire connaître maintenant quelques détails sur chacune d'elles.

La traverse supérieure d'une fermette offre deux œillets, l'un circulaire de 0^m.04 de diamètre, l'autre elliptique de 0^m.05 et de 0^m.04 suivant le grand et le petit axe, ayant respectivement leur centre à 0^m.15 et à 0.325 de l'angle d'amont de la fermette. Le premier est destiné à donner passage aux broches, et le second sert à fixer au moyen d'un écrou la chape soutenant les planches.

Cette chape a 0^m.27 de hauteur totale, et 0^m.20 de saillie au-dessus de la traverse; elle peut être regardée comme composée de quatre parties. La première partie, en commençant par l'extrémité inférieure, a 0^m.04 de diamètre et 0^m.03 de hauteur, elle est taraudée pour recevoir l'écrou; la seconde partie, placée dans la traverse, a la forme du vide qu'elle occupe exactement; la troisième partie, reposant par des rebords sur cette traverse, a 0^m.09 de hauteur, 0^m.04 et 0^m.075 de largeur et longueur maximum, et comprend un talon qui s'oppose au renversement que la charge tendrait à donner à la chape; la quatrième partie, enfin, présente un couronnement saillant de 0^m.01 pour empêcher la planche de se soulever lorsqu'elle est pressée par les aiguilles. Ce couronnement est surmonté d'un œillet dans lequel on accroche les chaînes de traction.

Les planches servant d'appui aux aiguilles ont 1^m.20 de longueur, 0^m.30 de largeur et 0^m.04 d'épaisseur; leurs deux bouts sont terminés sur la moitié d'aval par deux

arcs de cercle produisant chacun un évasement de 0^m.05 , et leurs extrémités sont recouvertes par des plaques de tôle sur 0^m.20 de longueur. Chaque planche est percée symétriquement sur son axe longitudinal , pour le passage des broches et des cordes , de deux œillets elliptiques dont les centres sont éloignés entre eux de 1^m.00 , comme les axes des fermettes , et de deux trous circulaires. Les œillets ont 0^m.07 et 0^m.05 dans leur plus grande longueur et largeur ; ils sont garnis de tôle. Chaque planche porte , à 0^m.12 de l'une de ses extrémités , un taquet de 0^m.04 d'équarrissage et de 0^m.30 de longueur fixé par des vis.

Les broches ont une tige de 0^m.16 de longueur et de 0^m.035 de diamètre. Chacune d'elles offre une poignée demi-elliptique de 0^m.03 de hauteur placée au-dessus d'une partie rectangulaire de 0^m.08 de longueur et de 0^m.015 d'épaisseur par laquelle elle repose sur les planches.

Les planches faisant partie de la passerelle volante et servant en même temps à faire tomber les fermettes , ont 1^m.20 de longueur, 0^m.30 de largeur et 0^m.03 d'épaisseur. Chacune d'elles est munie d'un taquet et d'un piton rivé à œillet , et présente sur son axe longitudinal deux ouvertures de 0^m.10 de longueur, et de 0^m.05 de largeur, ayant leurs centres distants d'un mètre. Le taquet est interrompu au droit de l'ouverture qui lui correspond.

Les aiguilles ont 2^m.50 de hauteur et 0^m.04 d'équarrissage ; la poignée de 0^m.30 de longueur, est arrondie et porte une tête qui l'empêche de glisser dans la main. Cette tête , garnie de tôle , est percée d'un trou dans lequel doit passer la corde.

Paris , 24 mai 1843.

N° 75.

Des accidents sur les chemins de fer, de leurs causes et des moyens de les prévenir ;

Par M. LOCART, Ingénieur civil.

But des chemins de fer. — Procurer aux voyageurs des moyens de transport réunissant à la fois la rapidité à l'économie, et la commodité à la sécurité, tel nous paraît être le but où doivent tendre tous les efforts des ingénieurs chargés de la construction des chemins de fer.

De la vitesse. — La vitesse moyenne sur les railways est, en général, de trois à quatre fois plus grande que celle des diligences circulant sur nos meilleures routes. Elle peut être beaucoup plus considérable. Ainsi, sur le chemin de fer de Great-Western, elle a été portée jusqu'à 50 milles ou 80 kilomètres par heure. Une telle rapidité peut être bonne pour des expériences destinées à constater la puissance des locomotives et leur immense supériorité sur les autres moyens de traction ; mais ce serait se jouer de la vie des hommes que de l'appliquer à la marche des convois.

De l'économie. — En général, le prix des transports par diligences est, en France, de 0^{fr}. 125 par kilomètre. Sur les chemins de fer il est par kilomètre :

CLASSES.	Versailles.	Saint-Germain.	Orléans.	Rouen.	Lyon.	Cette.
Pour les voyageurs	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.
de 1 ^{re} classe.	9.00	11.00	10.00	12.00	10.40	7.50
de 2 ^e classe.	6.50	9.75	7.50	10.00	8.60	5.00
de 3 ^e classe.	4.40	6.50	5.00	7.50	6.90	•

En Belgique, les prix sur les chemins de fer sont fixés :

	cent.
Pour les voyageurs de 1 ^{re} classe.	7.00
2 ^e classe.	4.70
3 ^e classe.	3.50

Ces prix procurent une économie de 15 pour 100 aux voyageurs de première classe; de 30 pour 100 à ceux de deuxième, de 60 pour 100 à ceux de troisième.

En Angleterre, les tarifs moyens sont par kilomètre :

	Chemins du midi et du centre. cent.	Chemins du nord. cent.
Voyageurs de 1 ^{re} classe. .	16.60	12.63
de 2 ^e classe. .	11.32	7.46
de 3 ^e classe. .	9.89	6.41

Les prix par diligences s'élèveraient à peu près au double.

Mais à cette économie d'argent il s'en joint une autre bien plus importante, celle du temps. Pour les promeneurs cette économie n'est sans doute d'aucune valeur; pour le commerçant, pour l'industriel, le temps c'est plus que de l'argent.

De la commodité. — Sous le rapport de la commodité, on ne saurait nier l'immense supériorité des chemins de fer sur toute autre voie, celle des fleuves et des rivières exceptée. Quel que soit le mode de construction des voitures et la souplesse des ressorts, les voyageurs sont exposés, sur les routes de terre, à des chocs plus ou moins violents dont on peut, à force de soins et de dépenses, diminuer la gravité, mais qu'on ne saurait entièrement faire disparaître. Sur les chemins de fer rien de semblable n'est à craindre. Les mouvements y sont constamment doux et à peine sensibles, et les variations atmosphériques sont sans influence.

Ainsi donc, sous le rapport de la vitesse, de l'économie et de la commodité, le but des chemins de fer a été complètement atteint. On peut même dire que les résultats

obtenus sur tous les railways ont dépassé de beaucoup toutes les prévisions et même toutes les exigences du public.

Mais il n'en est pas ainsi quant à la sécurité ; à cet égard il reste encore beaucoup à faire. En général les chances d'accidents y sont nombreuses, et leurs conséquences peuvent être des plus désastreuses. Ainsi en Angleterre (1), où cinquante chemins de fer sont actuellement en activité, le nombre des accidents arrivés depuis le mois d'août 1840, jusqu'au 31 décembre 1841, a été de 204, dont 79 en 1840, et 125 en 1841. Ce chiffre de 204 doit être divisé en trois catégories. La première comprend les accidents du fait du chemin lui-même, comme sortie des rails, collisions des convois, etc. ; elle s'élève à 57 ; les victimes sont au nombre de 249 personnes, dont 46 tuées et 203 blessées. La deuxième catégorie, dont le chiffre est de 52, est relative aux accidents occasionnés par la négligence des personnes qui ont eu elles-mêmes à en souffrir. On y compte 23 tués et 30 blessés. Dans la troisième, sont classés les accidents dont les gens au service de la compagnie ont été les victimes, sans que pour cela le public ait couru le moindre danger. Le nombre des tués est de 46 et celui des blessés de 62. Il est vrai qu'en rapprochant ces quantités du nombre de voyageurs transportés, on est arrivé à cette conclusion que le nombre des victimes était à celui des voyageurs, comme 1 est à 145 963. Ainsi, pour chacun des voyageurs qui ont parcouru les chemins de fer d'Angleterre, dans l'espace de 17 mois, il y avait pour lui une chance d'accident dont la probabilité peut être représentée par la fraction $\frac{1}{145963}$. Ce rapport devrait suffire sans doute pour détruire bien des craintes, bien des appréhensions ; car cette proportion est de beaucoup inférieure à

(1) Voir le *Globe* du 19 mai 1842.

celle qu'il faudrait appliquer aux routes ordinaires où les accidents sont bien autrement nombreux, eu égard au nombre restreint des voyageurs. Malheureusement l'horrible catastrophe du 8 mai est venue prouver que tel accident, une rupture d'essieu, par exemple, qui, sur un chemin de fer n'a pas eu de conséquences graves, peut en avoir d'épouvantables sur un autre; et que par conséquent le calcul des probabilités, reposant en cette circonstance sur des bases fort incertaines, est loin d'être aussi rassurant qu'on a bien voulu le prétendre. Mais ne peut-on donner aux chemins de fer toute la sécurité que le public est en droit de réclamer? Les résultats obtenus sur le chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon, chemin placé dans les conditions les plus défavorables, ne nous permettent pas de douter que ce but ne puisse être facilement atteint. A cet égard notre conviction est complète: elle repose non pas seulement sur des théories toujours controversables, tant qu'elles n'ont pas reçu la sanction de l'expérience, mais sur des faits nombreux, dont trop de gens ont été les témoins pour qu'il soit possible de leur opposer même un doute.

Les dispositions auxquelles le chemin de fer de Saint-Étienne doit la grande sécurité qu'il présente aux voyageurs, peuvent être facilement appliquées à tout autre railway. Elles n'entraînent de frais considérables ni pour leur premier établissement ni pour leur entretien; elles ne causent aucun embarras et n'apportent aucune entrave dans la marche des convois. Nous les publions aujourd'hui avec le regret de ne les avoir pas fait connaître plus tôt. Nous n'en avons fait du reste un secret à personne, et nous avons toujours apporté, comme nous nous ferons encore un devoir de le faire, le plus vif empressement à fournir tous les renseignements qui pourraient nous être demandés. Être utile, voilà le seul but où tendent tous nos efforts. Puissions-nous être assez heureux pour l'atteindre!

Nous allons successivement décrire les procédés à l'aide desquels nous avons eu le bonheur de prévenir des accidents dont les conséquences pouvaient être des plus désastreuses. Mais auparavant il convient d'examiner les principales causes de ces accidents.

Principales causes d'accidents. — Les accidents auxquels on est exposé sur les chemins de fer peuvent être divisés en deux catégories, selon qu'ils proviennent, soit du matériel, soit de la voie, ou qu'ils sont le résultat de l'imprévoyance des employés chargés d'assurer la marche des convois.

Dans la dernière catégorie nous placerons les collisions de convois et les arrêts subits.

Collisions. — Les collisions peuvent avoir lieu dans les cas suivants :

1° Lorsque le chemin n'a qu'une voie, et que la marche des convois, allant en sens contraire, a été mal réglée, ou que les ordres des inspecteurs n'ont pas été exécutés, comme cela eut lieu, le 27 août 1840, lors de la rencontre de deux convois près de Zarskoje-Selo en Russie.

2° Lorsque, par suite d'un accident ou de travaux de réparation, l'une des voies étant interceptée, les convois marchant en sens inverse sont obligés de prendre la même voie sur une certaine longueur. Cette manœuvre est souvent indispensable : elle a lieu fréquemment sur le chemin de Saint-Étienne, où cependant elle n'a encore donné lieu à aucun accident, grâce aux précautions impérieusement prescrites par la direction, et dont l'observation rigoureuse est l'objet d'une surveillance des plus sévères.

3° Si au passage de la jonction de deux voies, deux convois marchant, soit dans le même sens, soit en sens inverse, les conducteurs des machines ne se rendent point compte de la vitesse et de l'espace qu'ils ont à franchir pour pouvoir passer l'un devant l'autre, il y a collision.

Telle est la cause de l'accident arrivé en octobre 1840, lors de l'ouverture du chemin de fer d'Eastern Counties.

4° Des waggons laissés en stationnement, soit sur le commencement d'un embranchement, soit sur la voie principale, peuvent également être cause d'une collision.

5° Si un convoi vient à éprouver un retard dans sa marche et que le convoi suivant n'en ait pas été prévenu, il y a collision, et le choc est d'autant plus violent que l'événement se passe dans une tranchée ou dans une courbe de manière à empêcher au deuxième convoi d'apercevoir le premier assez à temps pour ralentir sa marche et amortir, au moins en partie, la violence du choc. C'est précisément ce qui est arrivé en octobre 1840, sur le chemin de fer de Southampton. Le choc fut tellement violent, qu'une personne fut tuée par le seul effet de la commotion. Ce cas d'accident peut se présenter souvent sur les chemins de fer où la circulation a lieu la nuit. Pour le prévenir, on a soin, en Angleterre, de placer à l'extrémité de la dernière voiture une énorme lanterne dont les verres sont de couleur rouge. Sur le chemin de Saint-Étienne, nous avons préféré employer une lanterne double confiée à un garde qui, en cas d'accident ou de ralentissement dans la marche, va au devant du convoi suivant en faisant des signaux avec sa lanterne. Ce système a très-bien réussi jusqu'à présent. Il nous a paru préférable à celui d'Angleterre, où personne, pendant la marche, ne s'occupe de l'état de la lanterne, dont la flamme peut cependant s'éteindre ou n'être pas vue à une assez grande distance.

6° La collision peut encore être produite par un ou plusieurs waggons qui, formant l'extrémité d'un convoi, viendraient à s'en détacher et resteraient sur la voie. Ce cas ne peut arriver avec des diligences, parce que les voyageurs s'en apercevraient immédiatement, et que les conducteurs des voitures laissées en arrière, avertiraient la tête du convoi suivant; mais il n'en est pas de même pour

les waggons de marchandises. L'expérience nous l'a prouvé plus d'une fois. Aussi regardons-nous comme indispensable pour la sécurité, la mesure adoptée pour nos diligences qui toutes sont réunies par trois points. La chaîne du milieu est plus courte que celles placées sur les côtés de la caisse ; la traction s'opère par conséquent dans les conditions les plus favorables, et, en cas de rupture de cette chaîne, les deux autres la remplacent. Ce système nous a même permis de faire circuler une voiture sur un seul essieu.

La mesure que nous venons d'indiquer est surtout indispensable à la remonte des plans inclinés, où la gravité ferait descendre et précipiter sur le convoi suivant les waggons dont l'unique chaîne d'attache viendrait à se rompre. Pour prévenir un tel accident, on a depuis longtemps employé, sur le plan incliné de Saint-Étienne à Rive-de-Gier, un système très-simple qui consiste à placer sur la voie de montée des aiguilles disposées de manière que tout wagon venant à descendre par suite de la rupture ou du décrochage de la chaîne qui le rattache au convoi, serait précipité hors de la voie. Ces aiguilles sont éloignées les unes des autres de 1 000 mètres environ.

Les voituriers chargés de la remonte des waggons emploient en outre un moyen fort simple pour empêcher de descendre le dernier wagon de chaque convoi. Ils adaptent à l'essieu de derrière, une petite pièce de bois, armée d'un crochet, qui saisit l'essieu, et dont l'autre extrémité est terminée par une pointe de fer qui touche constamment le sol. Au moindre mouvement de recul, la pièce de bois s'arçoute sur le sol, et le wagon est arrêté.

La fig. 13, Pl. 47, représente cette pièce de bois à laquelle nos voituriers ont donné le nom de *chambrière*.

Nous ne parlerons pas des collisions qui peuvent avoir lieu à la traversée des grandes routes et des chemins vicinaux, parce qu'au moyen de gardes et de barrières on

peut toujours les éviter ; à moins cependant qu'il ne se trouve des voituriers aussi malintentionnés ou plutôt aussi fous que celui condamné dernièrement par le tribunal de la Seine ,* pour avoir enfreint les défenses faites par un garde du chemin de Versailles. Mais de semblables cas sont ordinairement fort rares. Du reste, il serait facile d'adapter aux barrières une disposition telle, qu'une fois fermées, elles ne pussent être ouvertes avant le passage d'un convoi.

Il est encore un cas de collision qui peut se présenter souvent, c'est celui où le conducteur n'étant pas maître de sa machine, laisse le convoi arriver avec violence contre les voitures en dépôt dans les gares ou contre les extrémités des stations, comme il est arrivé sur l'un des chemins de Paris, en 1839.

En Angleterre, on a eu soin sur plusieurs chemins de placer à l'extrémité de la station un système de ressorts pour amortir le choc. Nous citerons entre autres la disposition adoptée à Liverpool et celle du chemin de fer de Manchester à Leeds. Sur le chemin de fer de Saint-Étienne de telles précautions seraient inutiles ; les accidents de ce genre ne peuvent arriver ; les machines locomotives sont toujours détachées du convoi avant d'entrer dans la station, où les voitures seules pénètrent par la vitesse acquise.

Arrêts subits. — Quant aux accidents provenant d'arrêts subits, ils sont extrêmement rares ; cependant ils peuvent être occasionnés par des masses de terre ou de rocher se détachant du haut des talus au moment du passage d'un convoi dans une tranchée. En général, de tels éboulements sont faciles à prévoir ; ils sont toujours précédés de la chute de petits fragments de pierre ou de terre, et rarement il en est autrement.

L'accident par arrêt subit peut encore être occasionné par des cantonniers laissant des outils sur la voie, ou né-

gligeant, lorsqu'ils changent un rail, de prévenir les convois à une distance suffisante pour que la vitesse puisse en être modérée. « Ainsi, le 4 août 1838, sur le chemin de Bruxelles les, des ouvriers travaillaient sur un remblai de quelques mètres de hauteur à replacer un rail; à la vue d'un convoi inattendu de troupes attelé de deux remorqueurs, ils donnèrent, mais trop tard, le signal de l'arrêt. Les machinistes firent de vains efforts pour arrêter à temps les locomotives qui furent précipitées du haut du remblais, entraînant avec elles les quatre premières des vingt voitures du convoi. » (Rapport de M. Nothomb.)

Ce genre d'accidents peut aussi avoir lieu par l'interruption de la voie, par suite de l'ouverture d'un pont tournant, comme cela arriva le 20 août 1838 sur le chemin d'Ostende. « Un convoi spécial avait conduit le roi à Ostende et revenait de nuit. Le pont de la Sneppe se trouvant malheureusement ouvert, la locomotive franchit l'ouverture du pont; mais retenue par le poids des voitures qui s'étaient précipitées à sa suite dans la rivière, elle vint en briser deux par son recul; deux personnes furent tuées et une autre grièvement blessée. » (Rapport de M. Nothomb.)

Des changements d'heure dans les départs des convois, et surtout l'expédition de voitures particulières marchant à des vitesses et à des heures différentes de celles des convois, peuvent encore donner lieu à des accidents; aussi doit-on, à moins de circonstances extraordinaires, éviter avec soin tout ce qui tend à déranger l'ordre de service établi.

Ainsi, malgré le nombre assez considérable des causes qui peuvent les produire, les accidents résultant d'arrêts subits ne se présentent pas souvent. Ils deviendront encore plus rares à mesure que les personnes chargées de la surveillance des convois auront acquis une plus grande expérience. Nous ferons en outre remarquer que la gravité de

ces sortes d'accidents dépend surtout de l'impossibilité où se trouve le conducteur de la locomotive, de détruire assez à temps la vitesse acquise et par sa machine et par son convoi. C'est principalement en vue de cet inconvénient que nous avons appliqué à nos voitures un des moyens de sûreté dont nous donnerons plus loin la description.

Accidents produits par la voie ou le matériel. — Passons à l'examen des accidents qui peuvent être produits par les rails ou le matériel.

Rupture des rails. — La rupture des rails, lorsqu'elle n'est pas le résultat d'un défaut de fabrication, provient en général des chocs produits par des roues dont le bandage extérieur formant la jante se trouve usé inégalement et présente des facettes assez prononcées; circonstance très-fréquente lorsqu'on est obligé de faire souvent usage de freins. La rupture des rails peut encore être occasionnée par des roues dont les boudins, soit par défaut de fabrication, soit par usure de la jante, deviennent trop élevés et portent alors sur des coussinets. Dans cette circonstance la locomotive est soulevée au-dessus du rail et produit un choc qui détermine la rupture. Le même effet a lieu si la roue est placée sous une voiture fortement chargée.

Les effets dont nous venons de parler ont été souvent constatés sur le chemin de Saint-Étienne. Ainsi, par exemple, le 21 décembre 1840 une machine locomotive dont le bandage de l'une des roues présentait des facettes assez fortes pour que la partie correspondante du boudin vint toucher les coussinets, produisit dans un seul voyage la rupture de 62 rails. Le 26 août 1841 une autre locomotive dont les roues se trouvaient dans les mêmes circonstances, détermina 34 ruptures de rails.

Quant à la rupture provenant de défauts de fabrication, il est rare qu'elle ne se manifeste pas au moment même

de la pose. On pourrait du reste, pour s'assurer si les rails ne présentent point de fortes pailles ou fissures à l'intérieur, se borner à les laisser tomber d'une certaine hauteur sur une plaque de fonte. Les vibrations produites par ce choc suffiraient sans doute pour faire ressortir les vices intérieurs. Cette opération pouvant être faite avant le dressage, ne peut en aucune façon être nuisible aux rails.

Un dé ou une traverse de joint mal calés peuvent encore, en mettant en porte-à-faux l'extrémité d'un rail, en occasionner la rupture; mais si les cantonniers exercent une surveillance convenable, ils reconnaissent très-facilement un pareil défaut de pose. Il n'est pas même nécessaire, pour s'en apercevoir, d'attendre le passage d'un convoi; l'aspect du sol l'indique suffisamment, surtout après la pluie.

Les rails sont encore sujets à une autre cause d'accidents. Par l'effet de la dilatation ils peuvent être déplacés et même enlevés entièrement; ainsi en juin dernier, époque où les chaleurs étaient très-fortes, un rail de 2^m.30 de longueur, pesant 69 kilogrammes et faisant partie de la voie de descente entre Rive-de-Gier et Givors, a été lancé à une distance de 3^m.25 par le seul effet de la dilatation.

Un rail rompu expose les convois à dérailler. Il peut également occasionner la rupture des essieux et des roues, surtout lorsqu'elles sont en fonte. Aussi considérons-nous un rail rompu comme une chance d'accidents dont les conséquences peuvent être des plus graves.

Les rails ayant la forme dite américaine, employés en Angleterre sur les chemins de Great-Western, de Bolton à Preston et Shields à Newcastle, ne sont pas exposés à de semblables chances de rupture. Pour ces rails la rupture ne peut avoir lieu qu'en cas de pourriture partielle de la pièce de bois sur laquelle ils sont assujettis. Mais il est facile de s'apercevoir de cette détérioration et par consé-

quent de prévenir l'accident. Sous ce rapport les rails américains sont préférables à tous les autres. La *fig. 10* représente le rail employé maintenant sur le chemin de Great-Western, et la *fig. 11* celui de Croydon.

Rails dont l'extrémité est sortie des coussinets. — Comme on l'a reconnu depuis longtemps sur le chemin de Saint-Étienne, les rails éprouvent un mouvement horizontal assez prononcé pour que leurs extrémités sortent des coussinets, et perdant leur point d'appui ne se trouvent plus supportées. Dans cet état le rail est aussi dangereux que s'il était rompu; il peut, comme dans ce dernier cas, produire le déraillement et la rupture des roues et des essieux.

Ce mouvement des rails est surtout remarquable dans les plans inclinés et par les grandes chaleurs. Il se manifeste dans le sens du mouvement des waggons, et non dans le sens contraire, comme on serait porté à le croire. Différents systèmes ont été employés pour l'arrêter complètement. On a d'abord essayé de mettre sur le plafond du coussinet de joint, une légère saillie contre laquelle chaque extrémité inférieure des rails venait buter. Puis on a fait usage de coussinets présentant, dans le milieu de la hauteur, un bouton de forme cylindrique qui entraît dans une entaille ménagée dans l'épaisseur du rail. A ces deux systèmes on en a substitué un troisième avec beaucoup de succès. Il consiste à mettre à l'extérieur de l'un des coussinets une clavette horizontale traversant le rail. Cette clavette est formée d'un morceau de fer demi-cylindrique replié en deux. Le trou ménagé dans le rail a par conséquent une forme qui ne peut altérer sa résistance. Il n'est pas nécessaire d'arrêter ainsi tous les rails; les clavettes peuvent être éloignées de 30 à 40 mètres : nous ne pensons pas qu'on se soit occupé, sur les autres chemins de fer, de prévenir cette chance d'accidents.

Rupture du coussinet de joint. — La rupture de la paroi verticale et extérieure d'un coussinet de joint, en abandon-

nant à elles-mêmes les extrémités des rails, peut occasioner le déraillement ; mais cette cause d'accident est très-rare : elle ne peut être occasionnée que par une soufflure ou défaut de fonte qui se trouverait précisément à la jonction du plafond du coussinet et de la joue ou paroi verticale extérieure. En général les coussinets se rompent dans le plafond : les accidents résultant de leur rupture sont communs aux rails double T et simple T.

Absence ou pourriture des coins placés dans les coussinets de joint. — Dans tous les chemins de fer d'Angleterre et de Belgique, comme sur la plupart des nôtres, les coins en bois destinés à maintenir les rails dans les coussinets, sont tous placés à l'extérieur de la voie. Il résulte de cette disposition, que si le coin d'un coussinet vient à manquer ou à être pourri, la locomotive en passant fait céder le rail ; la voie s'élargit et le convoi est dérailé. Le cas qui se présente le plus souvent est celui où l'un des rails étant encore maintenu par le coin, l'autre ne l'est pas suffisamment pour résister à la pression du boudin des roues du remorqueur. Il se forme alors ce qu'on appelle en pratique *un crochet*, et la locomotive est obligée de dérailier.

Ces deux cas se sont très-souvent présentés sur notre chemin : aussi, lorsque nous avons renouvelé les rails en 1836, avons-nous pris le parti de mettre tous nos coins à l'intérieur de la voie. Nous avons eu depuis cette époque l'occasion de reconnaître combien ce parti nous a évité de graves accidents : ainsi nous avons trouvé maintes fois des rails dont les joints manquaient de coins, et qui, maintenus par le coussinet, n'entravaient nullement la circulation. Nous conseillerons surtout d'employer, pour les coins, du bois comprimé ou qui aurait subi la préparation indiquée par M. Boucherie. L'un et l'autre système auraient l'avantage de rendre le bois moins impressionnable aux changements de température, et l'on ne serait plus exposé à les voir quitter les coussinets, comme cela arrive si souvent en été.

Contre notre système on objectera sans doute que les coins placés en dehors ont le grand avantage d'amortir les chocs latéraux produits par les roues contre les rails, et par conséquent d'éviter les chances de rupture pour les coussinets. Une expérience de plusieurs années nous a démontré que ces craintes n'étaient nullement fondées.

Dans les chemins où la pose n'a pas été disposée pour recevoir les coins en dedans, on pourrait se borner à changer les coussinets de joints seulement. Ce serait une faible dépense de main-d'œuvre, au moyen de laquelle on éviterait une *chance certaine* d'accidents.

Sur plusieurs chemins de fer où le rail simple T a été préféré à celui double T, les extrémités des rails sont taillées en biseau, tels sont ceux de la Belgique, de Blackwall et de Manchester à Leeds. Sur ces deux derniers le célèbre Stephenson a disposé les extrémités du rail de manière que la surface destinée au roulage présente la disposition indiquée par la *fig. 6*. La partie inférieure, c'est-à-dire, sous le champignon, est à recouvrement. Ce système est solide et préserve des chances d'accidents dont nous venons de parler. Mais d'une autre côté il présente une assez grande difficulté d'exécution. Il pourrait être remplacé par le joint d'équerre avec d'autant plus de raison que le rail simple T a le précieux avantage de permettre de donner aux coussinets une forme qui dispense d'avoir des coins en bois et qui enveloppe le rail autant que possible. Tels sont les coussinets de Blackwall, *fig. 5*, ceux de Manchester à Leeds, *fig. 7*, et ceux de Great-North of England railway, *fig. 2*.

Le rail, *fig. 5*, est maintenu par un boulon incliné traversant le coussinet, et dont l'extrémité se loge dans une rainure ménagée dans le rail. Une clavette A empêche ce boulon de sortir du coussinet.

Le rail, *fig. 7*, est fixé dans le coussinet par un petit boulet

qu'une clavette traversant le coussinet oblige à pénétrer en partie dans une rainure pratiquée sur le rail.

Pour le rail, *fig. 2, 3 et 4*, le coin ordinaire est remplacé par une espèce de tasseau en fonte qui glissant horizontalement entre les deux parois du coussinet est pressé contre le rail par une clavette.

Sur d'autres chemins, et ceux de Belgique sont de ce nombre, le rail simple T est assujéti dans le coussinet par une clavette en fer passant dans une rainure pratiquée dans le coussinet et dans le rail.

Avec ces dispositions on n'a pas à craindre les accidents qui peuvent être produits par la pourriture ou l'absence des coins.

A l'avantage de ne point nécessiter de coins en bois, le rail simple T joint celui de présenter à poids égal une plus grande résistance dans le sens vertical que le rail double T. Mais par contre, il a l'inconvénient de ne pouvoir être retourné sens dessus dessous; d'offrir moins de résistance aux efforts latéraux et de présenter plus de difficulté pour son maintien dans le coussinet. Il est en outre exposé à se déverser promptement par suite du peu de largeur de sa base.

Le rail américain n'ayant pas de coussinet, n'est par conséquent pas exposé aux chances d'accidents provenant des coins.

Indépendamment du moyen indiqué ci-dessus pour prévenir les accidents résultant de l'absence des coins, on pourrait les fixer au moyen d'un petit clou ou broche traversant l'une des joues du coussinet. Ce moyen est peu dispendieux et atteindrait parfaitement le but.

Absence ou pourriture des chevilles des coussinets de joint. — Placés sur des traverses de bois, les coussinets sont maintenus par des chevilles en fer qui présentent sans aucun doute toute la solidité désirable; cependant on peut leur reprocher de prendre peu à peu assez de jeu pour pou-

voir être facilement enlevées. Ces chevilles sont alors exposées à être volées, et le coussinet n'étant plus maintenu peut occasionner un déraillement. Cette chance d'accident ne doit se présenter que sur les chemins où l'on n'est pas encore parvenu à empêcher la circulation des piétons. Tel est celui de Saint-Étienne à Lyon et ceux de la Loire.

Les chevilles en fer peuvent encore se rompre soit au niveau de la traverse, soit dans l'épaisseur du coussinet. Pour qu'il y ait accident, il faudrait dans le premier cas la rupture simultanée des deux chevilles ; dans le deuxième, il faudrait, qu'indépendamment de cette circonstance, l'une des deux traverses voisines fût assez mal fixée sur le sol pour que le rail, en fléchissant en ce point, opérât comme un levier, et fît sortir le coussinet de joint des portions de chevilles dépassant la traverse. Toutes ces circonstances peuvent se présenter ; mais bien évidemment leur rencontre doit être excessivement rare.

Lorsque les coussinets sont fixés sur dés, on emploie en général des chevilles en fer enfoncées dans un fort goujon en bois encastré dans le dé. Ce système présente au moins autant de sécurité que celui des traverses. Mais il est coûteux et souvent impraticable par suite de la nature de la pierre. Ainsi, sur le chemin de Saint-Étienne, nous sommes obligé de faire usage de simples chevilles en bois. C'est bien certainement le système le plus vicieux ; mais la nature de la pierre ne nous permet pas d'en employer un autre : il en résulte que beaucoup de coussinets tiennent peu sur les dés. Pour obvier à un aussi grave inconvénient, il serait bon, lorsque l'on ne peut mettre des traverses en bois sous les coussinets de joint, de donner à ces coussinets la forme adoptée maintenant à Darlington pour tous les coussinets destinés à être placés sur dés. Les *fig. 8 et 9* en représentent le plan et l'élévation. Ainsi fixé par quatre chevilles, ce coussinet présente toute la sécurité désirable : quant à l'augmentation de dépense, elle serait peu considérable. Sur

ce dernier chemin de fer on avait employé, pour des coussinets ordinaires placés sur des, des boulons traversant tout le dé. On y a renoncé pour y substituer le système de coussinet à quatre chevilles.

En rendant compte de diverses améliorations apportées, dans la construction des chemins de fer, par M. Cubitt, l'habile ingénieur du railway de Douvres à Londres, le journal des *Chemins de fer*, dans son numéro du 8 avril 1843, fait au sujet des chevilles en fer les observations suivantes : « En examinant les dessins, *fig. 12*, des chevilles en fer relevées sur le chemin de Manchester à Liverpool, on reconnaît que, par suite de l'imperfection de l'exécution primitive (imperfection inévitable dans toute fabrication importante dont le but principal est l'économie), les chevilles ne devaient pas remplir exactement, lorsqu'elles furent posées, les trous ménagés dans les coussinets pour les recevoir. L'effet naturel de cette non-adhérence a été dès lors de permettre, entre la cheville et le trou du coussinet, un suintement d'eau qui a déterminé la prompte oxydation des deux corps. En joignant par la pensée, à cette première cause de destruction, les ébranlements causés à ces deux corps en contact et non solidaires, par le passage des convois, on comprendra sans peine que chaque nouvelle vibration a déterminé un choc de la cheville contre le coussinet, choc qui a détaché les couches d'oxyde à mesure de leur formation. Nous avons représenté la section d'une cheville qui, dans l'origine, avait 19 millimètres de diamètre, et qui a été réduite par les causes sus énoncées à 9 millimètres seulement (ligne *cc*) ; tandis que le trou *aa* correspondant du coussinet s'est agrandi de 19 à 23 millimètres, par suite des mêmes influences ; ce qui a laissé en dernier lieu 14 millimètres d'intervalle pour le jeu de la cheville dans le coussinet. »

Il nous semble qu'il serait facile de remédier, au moins en grande partie, à l'inconvénient qui vient d'être signalé.

Il suffirait, au moment de la préparation des traverses, d'introduire un corps gras dans les trous des coussinets. Cette substance, pressée par la cheville, remplirait tous les vides qui pourraient se trouver entre le coussinet et la cheville et préviendrait toute oxydation. Du bitume ou du goudron minéral, dans lequel on introduirait du sable tamisé, remplirait parfaitement ce but. Ajoutons toutefois que les chevilles citées par le journal des *Chemins de fer*, ont fait, suivant M. Woods, un service d'au moins cinq années ; quelques-unes remontent même à l'origine du chemin de Manchester à Liverpool. Cette dernière observation nous paraît suffisante pour démontrer la supériorité des chevilles en fer sur celles en bois.

Changements de voie. — Les changements de voie, pour peu qu'ils ne soient pas en parfait état ou que la personne chargée de les faire manœuvrer vienne à manquer de soin (2), peuvent occasionner le déraillement, le décalage des roues, la rupture et le faussage des essieux. Les conducteurs des locomotives devraient toujours prendre la précaution de modérer leur vitesse au moment de passer sur les diverses pièces formant les changements de voie. On éviterait ainsi une cause assez fréquente d'accidents.

Nous ne dirons rien sur les tassements produits soit par de longues pluies, soit par les mouvements qu'éprouve souvent le sol quand les rails sont placés sur un terrain exploité par les mines, comme cela se présente dans diverses parties du chemin de fer de Saint-Étienne. En général, ces tassements n'ont lieu que peu à peu, et il est toujours facile de les reconnaître, et par conséquent de prévenir

(2) Dernièrement sur l'un des chemins de fer de Belgique, l'un des gardes n'ayant pas tourné à temps l'excentrique placé à un raccordement de rail, le train entier est sorti de la voie. Un accident très-grave est également arrivé à Turcoing le 4 avril 1843, par suite de la négligence de l'employé chargé de la manœuvre d'un excentrique.

les accidents qu'ils ne manqueraient pas de produire, surtout s'ils se manifestaient dans des parties courbes, et si les rails étaient posés sur des dés en pierre.

Quant aux élargissements de la voie, ils sont surtout à craindre dans les chemins où les rails sont entièrement posés sur dés. Comme j'ai eu occasion de le remarquer, les dés, même dans les lignes droites, résistent mal à la poussée latérale exercée contre les rails. Cet effet doit principalement avoir lieu dans les chemins de fer, où l'on emploie des roues à jantes coniques. A l'aide de ce moyen on réussit sans aucun doute à diminuer la traction dans le passage des courbes, mais par contre, on éprouve le grave inconvénient de déterminer un continuel mouvement de va-et-vient dans le sens transversal. Ce mouvement, auquel on a donné le nom de *lacet*, est très-fatigant pour les voyageurs. De plus, il produit une prompte détérioration du matériel, par une suite de chocs contre les rails qui sont en outre exposés à être déplacés.

Le bois doit-il être préféré à la pierre pour former les dés sur lesquels reposent les chairs ou coussinets ?

Cette question est maintenant tranchée en Angleterre et en Belgique en faveur du bois, qui est alors employé en pièces traversant la voie et recevant un coussinet à chaque extrémité. J'ai beaucoup examiné cette question et, suivant moi, le seul motif de la préférence donnée aux traverses, c'est la certitude de maintenir toujours la voie dans sa largeur primitive. Mais, comme nous l'avons déjà fait observer, pour être certain d'obtenir constamment cet effet, il faudrait toujours placer les coins à l'intérieur des rails et non à l'extérieur, comme on l'a fait jusqu'à présent sur tous les chemins de fer d'Angleterre et sur ceux des environs de Paris. Une autre considération a été mise en avant. On a prétendu que, posés sur traverses, les rails présentent une très-grande élasticité, et que les voyageurs éprouvent beaucoup moins de secousses. En un mot, le chemin est

beaucoup plus doux ; le matériel par conséquent doit être moins exposé à la dislocation. Nous avons été à même de reconnaître l'exactitude de cette observation , et toutes les personnes qui ont visité , comme nous , les chemins d'Angleterre , doivent se rappeler l'extrême différence , quant à la douceur du mouvement , entre le parcours sur le railway de Greenwich et celui sur le chemin de Croydon. Le premier est posé sur des et le deuxième sur traverses. La seule objection à faire contre la pose sur bois c'est , d'une part , la facilité pour le rail d'être plus promptement usé en raison de sa moindre rigidité , et d'une autre , l'excès de dépense résultant du prix de revient et du peu de durée des traverses en bois.

Pour obvier aux inconvénients de la pose sur pierre , et réunir les avantages des traverses , nous avons , dans notre rapport au conseil d'administration du chemin de fer de Saint-Étienne , du 6 janvier 1841 , proposé un système mixte qui consiste à placer des traverses aux joints seulement des rails , de manière à faire correspondre les joints de l'une des branches de la voie avec le milieu des rails de la branche opposée. Par cette disposition , maintenant adoptée et mise à exécution depuis l'année dernière , nous sommes parvenu à réunir la solidité à l'économie.

Des contre-rails. — Pour empêcher le déraillement sur certains points , sur des ponts par exemple , ou le long d'un précipice , d'une rivière , etc. , on emploie en général des longrines , c'est-à-dire des pièces de bois placées le long des rails ; quelquefois on les remplace par un rail de même forme que celui de la voie. Cette dernière disposition est surtout employée pour maintenir les roues au passage des croisements de voie. Ces deux systèmes présentent-ils toute la sécurité qu'on leur suppose ? nous ne le pensons pas. En effet , ces pièces de bois ne peuvent dépasser la surface des rails que de 0.10 à 0.15 au plus , autrement les bielles ou les cendriers des locomotives ne

pourraient passer. Ce peu d'exhaussement est insuffisant. Ainsi, en 1839, trois waggons de charbons et un fourgon de marchandises faisant partie d'un convoi remorqué par une locomotive, se précipitèrent dans le Rhône vis-à-vis le pont de Latour, bien qu'en cet endroit il y eût des longrines en très-bon état. Tout dernièrement encore, le 13 février 1843, lorsqu'on éprouvait le pont provisoire de la Mulatière, l'un des waggons d'un convoi remorqué par une locomotive, déraila sur le pont même, bien qu'il y eût des longrines le long de chacun des rails et que le convoi ne marchât qu'au pas. Les longrines étaient placées, dans le premier cas, à l'extérieur, et dans le second, à l'intérieur de la voie. Il est maintenant démontré, pour nous du moins, que le déraillement ne peut être prévenu par les longrines, soit qu'on les place en dedans ou en dehors de la voie. Elles présentent en outre les inconvénients suivants :

1° Placées sur le sol même, elles pourrissent rapidement, et dans cet état, elles peuvent faciliter le déraillement, surtout pour les essieux légèrement *faussés* ;

2° Dans le cas d'un déraillement, les premiers waggons sont exposés au danger dont on avait voulu les préserver, et en outre, les waggons suivants se trouvant arrêtés brusquement par les longrines, il y a arrêt subit et par conséquent choc violent et bris du matériel.

En substituant des contre-rails aux longrines en bois, on ne serait pas exposé aux arrêts subits, mais il serait facile à la malveillance de faire arriver précisément l'accident dont on aurait voulu préserver les voyageurs. Il suffirait pour cela de placer une ou plusieurs pierres dans l'intervalle qui sépare le rail du contre-rail ; les roues seraient alors soulevées, et très-probablement il y aurait ou déraillement ou rupture d'essieu par suite du choc produit par les roues en retombant sur les rails. Néanmoins nous n'hésiterions pas à donner la préférence aux contre-rails en fer,

surtout pour un chemin où la circulation des piétons serait interdite.

Rupture des essieux. — En général, les essieux droits se rompent dans la fusée et les essieux coudés près de la partie formant manivelle. Rarement les roues sortent de la voie aussitôt la rupture de l'essieu ; ordinairement elles continuent de marcher encore un certain laps de temps , et il est toujours possible aux conducteurs et aux surveillants de s'apercevoir de la rupture avant qu'elle ait pu déterminer un accident. Ainsi nous avons vu des essieux qui avaient circulé assez de temps pour que les sections formées par la rupture aient pu se polir par le frottement. Dans la catastrophe de Versailles, le déraillement n'a eu lieu qu'à 45 mètres de l'endroit où l'essieu est tombé, et bien certainement les deux ruptures ne furent pas opérées en même temps ; l'une a été la conséquence de l'autre. Ainsi la première a été faite bien en deçà du point où l'essieu est tombé à terre. Puis aux 45 mètres, il faudrait ajouter la distance parcourue par la machine pendant la chute de l'essieu. On doit de plus observer que, sans le contre-rail placé à la traversée de la route départementale dite Pavé des gardes, les deux roues bien qu'abandonnées à elles-mêmes, seraient très-probablement restées sur la voie pendant une certaine distance. Enfin, nous citerons l'expérience faite tout dernièrement sur le chemin de Londres à Birmingham par M. Bury. Une machine à quatre roues marchant à la vitesse de 20 milles (7 lieues) à l'heure, a parcouru une distance de 50 milles (17 lieues $\frac{1}{2}$) sans dérailler, et après la rupture de l'essieu de devant que l'on avait d'avance scié en partie.

Indépendamment du défaut de fabrication ou de la nature du fer, on doit considérer comme première cause de rupture pour les essieux le mauvais état des rails et celui des jantes des roues. L'un et l'autre déterminent des chocs auxquels un essieu, surtout s'il est coudé, peut très-diffi-

cilement résister. Une trop grande vitesse au passage des courbes d'un faible rayon, les changements brusques d'une voie à une autre, les variations subites de température, et surtout une certaine durée de service, sont encore autant de causes de rupture.

Le système de graissage doit aussi influencer sur la détérioration des essieux. Ainsi, avec le système employé surtout pour les diligences, et qui consiste à mettre de la graisse assez épaisse dans un réservoir placé au-dessus de l'essieu, la fusée n'est graissée que lorsque le frottement a suffisamment échauffé le réservoir pour faire fondre la graisse. Mais bien évidemment cette chaleur ne peut avoir lieu qu'au détriment de l'essieu dont elle doit modifier la texture. Sous ce rapport, le système employé depuis longtemps sur le chemin de Saint-Étienne est de beaucoup préférable. La graisse, au lieu d'être à l'état de pâte, est très-liquide; elle est placée dans un réservoir en contre-bas de l'essieu et dans lequel est un petit cylindre en bois que des ressorts obligent à être continuellement en contact avec la fusée. Ce cylindre, mis en mouvement par l'essieu même, amène constamment de la graisse sur la fusée. Ce système permet d'employer pour la graisse une composition dont le prix revient à 14 fr. les 100 kilogrammes.

Il résulte des notes prises avec soin au chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon, que les chances de rupture d'un essieu réparé sont six fois plus grandes que pour un essieu neuf. Cette observation a été faite sur les essieux de wagons et de diligences; et comme très-probablement le même résultat doit avoir lieu pour les essieux de locomotives, il y a une économie réelle à ne pas réparer les essieux. Ce parti a déjà été pris depuis plusieurs années par la compagnie du chemin de fer de Saint-Étienne.

Comme nous avons eu souvent occasion de le remarquer, les essieux d'une certaine grosseur, ceux des locomotives par exemple, se cassent rarement en entier par le

fait d'une seule circonstance. En général on reconnaît facilement que la rupture définitive a été précédée d'une ou plusieurs autres.

Les changements de température influent d'une manière notable sur la rupture des essieux. Ainsi, aux premières gelées et à la suite de grands dégels, surtout lorsqu'ils sont subits, le nombre d'essieux rompus est considérablement augmenté.

Nous citerons encore une observation faite, je crois, en 1834, par la commission chargée par le gouvernement d'expériences diverses sur les chemins de fer. Si l'on examine la constitution d'un essieu après un certain parcours dans le même sens, on trouve les fibres inclinées ou plutôt tordues dans la fusée. Par conséquent, si à la fin de chaque course l'on ne fait pas retourner le waggon sur lui-même de manière à faire marcher l'essieu dans le même sens pour l'aller comme pour le retour, les fibres des essieux seront successivement tordues et détordues. Elles devront alors perdre peu à peu leur adhérence et la résistance de chaque essieu sera évidemment détruite. D'où l'on devrait conclure qu'il y a un grand avantage à faire marcher les voitures toujours dans le même sens. Pour cela il faudrait leur faire subir une manœuvre aux stations extrêmes, et par conséquent avoir des gares plus vastes et un plus grand nombre d'embranchements et de plates-formes mobiles. Pour les locomotives, cette manœuvre est indispensable, autrement le conducteur marcherait à reculons, et le tender se trouverait parfois en tête du convoi, disposition des plus vicieuses et qu'on doit toujours éviter.

Quant à la nature du fer, il serait à désirer que les essieux fussent toujours formés avec du fer martelé et non laminé, comme cela a lieu en France sur plusieurs chemins de fer et notamment sur celui de Saint-Étienne. En Angleterre, pour être certain que les fournisseurs ne livrent que des fers martelés, on donne aux rondins destinés à

former les essieux , un certain renflement près de l'emplacement des deux fusées. Le laminage devient dès lors impossible.

Suivant l'observation faite par MM. Savart et Boquillon , les métaux les plus fibreux passent avec le temps à l'état cristallin ; transformation d'autant plus rapide que les pièces de métal sont soumises à des vibrations plus fréquemment répétées et plus énergiques. Nos observations pratiques viennent à l'appui de cette assertion. Ainsi nous avons remarqué dans presque tous les essieux rompus une cassure lamelleuse à facettes très-prononcées. Nous n'en avons pas encore vu un seul à l'état fibreux.

Suivant MM. James Nasmyth et Fairbairn , ingénieurs anglais , on doit attribuer en grande partie la faiblesse des essieux à l'habitude où sont les forgerons de battre le fer à demi refroidi. Ces messieurs pensent que cette méthode a une très-grande influence sur la nature du fer et sur l'adhérence de ses molécules , et qu'il faudrait , dans ce cas , soumettre le fer à une recuite , c'est-à-dire le placer dans des fours rougis au feu , puis les faire refroidir lentement. Cette observation est sans doute très-fondée , en ce qui concerne la fabrication des essieux martelés , mais elle ne détruit en rien l'observation que nous avons faite à l'appui des remarques de MM. Savart et Boquillon. En effet , tous les essieux du chemin de fer de Saint-Étienne sont en fer *laminé*. Ils ne reçoivent aucun coup de marteau pour leur fabrication , et en sortant du laminoir ils sont soumis au même système de refroidissement que tous les autres fers. La contexture cristallisée des essieux rompus doit donc être entièrement attribuée aux chocs pour ainsi dire continuels que les essieux éprouvent pendant la marche des convois.

On pourrait conclure de l'observation précédente , qu'au bout d'un certain temps les essieux devraient être mis hors de service. Mais quelles bases prendre pour établir cette

durée ? Ne dépend-elle pas de l'état des rails , du système de roues , de l'état des jantes , de celui des ressorts , toutes causes de chocs et par conséquent de destruction ? Le système de machine , la distance des essieux , le nombre , et le rayon des courbes formées par les rails , la multiplicité et la disposition des changements de voie , la vitesse de la marche , devraient également être pris en considération. Ainsi , sans aucun doute , tel essieu dont la durée serait avec raison limitée à deux ans sur un certain chemin de fer , pourrait sur un autre circuler un temps double et même davantage.

M. York , dans un mémoire lu dernièrement au collège des ingénieurs civils de Londres , prétend que la substitution d'essieux en fer creux à ceux en fer plein employés jusqu'à présent , présenterait un très-grand avantage sous le double rapport de l'économie et de la résistance. L'expérience seule peut décider cette importante question ; nous formons des vœux pour que M. York soit mis à même de mettre son système à exécution.

En général , la rupture d'un essieu produit un déraillement en permettant aux roues de s'incliner par rapport aux rails. Cet effet a lieu même dans le cas où la rupture est double , c'est-à-dire lorsque les deux roues sont abandonnées à elles-mêmes : à l'appui de cette observation nous citerons l'événement du 8 mai , le déraillement qui a eu lieu le 26 mai , sur le chemin de Montpellier , par suite de la rupture d'un essieu coudé , et surtout l'expérience faite dernièrement sur le chemin de Londres à Birmingham , par M. Bury. Quant à l'arrêt subit , auquel on a attribué tout le désastre du 8 mai , il n'a pas lieu aussitôt la rupture de l'essieu. Il est en général la conséquence du déraillement. « Ainsi , à Versailles , la machine , après être sortie des rails , a encore marché jusqu'à 20 mètres au delà de ce point , et est allée frapper , à 65 mètres à peu près de l'endroit où l'essieu est resté sur le sol , le talus méridional

de la tranchée au fond de laquelle le chemin de fer est encaissé. » (Rapport de MM. Combes et Sénarmon.)

Lorsque la rupture a lieu à un essieu de diligence , elle peut occasionner un accident dont la gravité dépend de la manière dont la charge de la voiture se trouve répartie. Ainsi , par exemple , en septembre 1840, près de la station de Derby en Angleterre, trois voitures furent renversées et brisées par suite de la rupture d'un essieu. Les conséquences d'un tel accident sont d'autant plus à craindre qu'il n'existe sur aucun chemin de fer , celui de Saint-Etienne excepté , un moyen sûr et facile de transmettre au conducteur de la locomotive l'ordre d'arrêter et de détruire la vitesse acquise par tout le convoi. Ainsi , lors de l'accident de Derby, le machiniste ne s'est arrêté que lorsqu'il s'est aperçu de la résistance qu'éprouvait la locomotive. Mais alors tout le mal était fait ; il n'était plus temps de le prévenir.

Essieux faussés. — Le déraillement est souvent occasionné par les essieux faussés. On appelle ainsi tout essieu dont l'axe a cessé d'être perpendiculaire à chacun des plans déterminés par les boudins ou rebords des roues. Dans cet état , un essieu présente encore le grave inconvénient de faire user rapidement les boudins des roues , ainsi que le parement intérieur des rails contre lequel l'extrémité supérieure des boudins vient alors frapper avec d'autant plus de force que le faussage est plus grand. Il y a plus : un essieu faussé tend à déplacer les rails , surtout lorsque les dés reposent sur un terrain léger présentant peu de résistance.

En résumé , un défaut dans la pose des rails , des changements de voie trop brusques , une charge trop forte , un bandage usé inégalement , et dont les facettes déterminent par conséquent des chocs , la nature du fer , un défaut de fabrication , telles sont en général les causes du faussage des essieux.

Le déraillement occasionné par les essieux faussés est presque inévitable au passage des aiguilles, c'est-à-dire, d'une voie sur une autre.

Ce défaut des essieux mérite une attention toute particulière, en raison de ses conséquences à peu près forcées, et de la difficulté de le reconnaître dans un convoi en repos. Le seul moyen d'y parvenir est de recourir à l'emploi d'une jauge.

Rupture des roues. — Les roues de locomotives ne sont plus susceptibles de se rompre. Leur système de construction ne laisse maintenant aucune crainte à cet égard. Il en est de même pour les roues en fer employées sur presque tous les railways pour les diligences et les tenders. Mais lorsque le chemin présente des plans inclinés d'une certaine étendue, tels par exemple que celui de Saint-Étienne à Rive-de-Gier, dont la pente est de $\frac{1}{71}$, sur une longueur de 21 kilomètres, on est obligé de substituer des roues en fonte à celles en fer. Cette substitution est nécessitée par l'emploi des freins employés à chaque instant, soit pour modérer la vitesse, soit pour arrêter les convois aux abords des stations. Ce fréquent usage des freins abrégerait nécessairement la durée des roues en fer dont les jantes ne tarderaient pas à offrir de nombreuses facettes qui, indépendamment des graves inconvénients signalés précédemment au paragraphe relatif à la rupture des rails, produiraient des secousses continuelles, très-incommodes pour les voyageurs. Un essieu garni de deux roues en fer revient à 435 fr., tandis que son prix ne s'élève qu'à 175 fr. lorsque les roues sont en fonte. Cette énorme différence justifie pleinement la préférence donnée, sur tous les chemins d'Angleterre, aux roues en fonte pour les waggon destinés aux transports de charbons. Ainsi donc sur les railways présentant de longs plans inclinés, et dont le trafic principal se compose de marchandises d'un grand poids, comme des pierres, des minerais ou du charbon,

il y a avantage à employer les roues en fonte. A la vérité ces roues se rompent souvent, et les accidents, conséquences ordinaires de leur rupture, peuvent contre-balancer l'économie du prix de revient. A cette objection nous répondrons que le système suivi jusqu'à présent pour la construction de ces roues est loin de présenter les conditions les plus favorables; à notre avis, il est susceptible de grandes améliorations. Du reste, pour donner une idée de la durée des roues en fonte, nous allons citer des faits. Sur le chemin de fer de Saint-Étienne, la proportion des roues brisées ou usées est d'environ 40 pour 100; tandis que sur le chemin de Stanhope and Tyne, placé à très-peu de chose près dans les mêmes conditions, cette proportion, en ayant égard à la différence des transports, est de $11 \frac{1}{2}$ pour 100 seulement. Sur ce dernier railway les roues brisées sont très-rares. Ainsi, pour 2000 waggon on en compte par année trois à quatre seulement. Cette énorme différence doit être en grande partie attribuée à la supériorité des fontes anglaises sur les nôtres.

La fracture de l'une des roues d'une diligence est une chance d'accident très-grave. Dans cet état, la diligence peut être renversée et entraîner avec elle celle qui la suit et celle qui la précède. Sur le chemin de Saint-Étienne, où les ruptures de roues de diligences sont très-fréquentes, nous n'avons pas eu encore un seul accident à déplorer. Cet heureux résultat n'est point l'effet du hasard, mais bien la conséquence des mesures et des procédés particuliers appliqués à notre matériel.

Roues décalées. — En général, dans les locomotives, les fusées sont à l'extérieur des roues. Dans ce système, il n'y a point de possibilité aux roues d'abandonner les essieux, et le décalage présente par conséquent moins de gravité. Mais souvent l'essieu est d'un diamètre moindre que celui du vide du moyeu. Dans cette condition, le dé-

calage permet à la roue de s'incliner sur l'essieu, et dès lors le déraillement est pour ainsi dire inévitable.

Ce que nous venons de dire pour les locomotives est applicable aux tenders et aux diligences dont les roues sont en général disposées de manière que les fusées sont à l'extérieur. Il n'en est pas de même sur le chemin de Saint-Étienne : toutes les fusées sont à l'intérieur, comme cela a lieu pour les waggons des chemins de fer des environs de Newcastle et de Darlington. Dans cette position, le décalage présente beaucoup plus de gravité qu'une fracture d'essieu. Toutefois le décalage des roues ne s'opère pas instantanément ; il a lieu peu à peu. Par conséquent il est toujours facile de le prévoir, surtout si les roues sont visitées à chaque départ et à chaque arrivée ; mesure adoptée depuis longtemps sur le chemin de Saint-Étienne.

Rupture d'un ressort de suspension. — La rupture d'un ressort de suspension ou des pièces qui transmettent son élasticité peut déterminer le déraillement, même dans le cas d'une faible vitesse. Ainsi, pour citer un exemple récent, nous avons eu, le 28 juin dernier, une locomotive qui, à l'issue du pont de la Mulatière, est sortie de la voie par la seule raison que l'un des ressorts était rompu. Cette machine est à quatre roues. Le même accident peut arriver aux diligences et aux tenders.

Explosion des locomotives. — Au nombre des chances d'accidents, nous n'avons pas compté les explosions qui peuvent arriver aux chaudières des locomotives, par la raison fort simple que les personnes placées sur la machine même sont les seules exposées ; quant aux voyageurs, ils ne courent aucune espèce de danger.

Ces explosions ne peuvent avoir lieu que par les extrémités de la chaudière et toujours par déchirure ; lorsqu'il y a excès de pression, les petits tubes au moyen desquels l'air chaud traverse la chaudière, se séparent de la pièce de cuivre commune à la chaudière et à la boîte à feu.

Quelquefois ces mêmes tubes crèvent ; mais dans l'un ou l'autre cas, il n'y a pas d'explosion. L'eau descend alors dans le foyer et éteint le feu. Jusqu'à présent les locomotives n'ont éprouvé que trois explosions *véritables*, dont une en Belgique et deux en Angleterre. Toutes trois ont été le résultat d'expériences faites sur un nouveau système de boîte à feu (*fire box*).

Ressorts de force ou de tension inégale. — Nous citerons encore une chance d'accident qui peut être produite par des ressorts de force ou de tension inégale ; dans ce cas, la charge se trouve supportée par trois roues, et dans cette position, la moindre défectuosité de la voie fait dérailler. Ainsi par exemple, nous avons eu un tender qui plein d'eau, et par conséquent fortement chargé, passait parfaitement et dans tous les sens sur l'une des courbes conduisant du pont de la Mulatière à la station de Perrache, tandis qu'il lui était impossible, dès que son réservoir contenait peu d'eau, de franchir la même courbe sans dérailler. Cet effet était dû à la force ou tension inégale des ressorts dont l'un ne fonctionnait que lorsqu'il était suffisamment chargé. Cette circonstance peut se présenter dans les locomotives et surtout dans les voitures ; mais il est facile d'y remédier.

Rupture des bielles. — L'expérience nous a démontré plus d'une fois que le déraillement pouvait être occasionné par la rupture des bielles dont on se sert pour rendre solitaires toutes les roues d'une locomotive ; l'adhérence est alors aussi grande que possible ; mais les bielles, lorsqu'elles viennent à se rompre, s'arcbontent sur le sol, soulèvent la locomotive et la font sortir des rails.

Le système des bielles d'accouplement a du reste d'autres inconvénients qui devraient restreindre leur emploi aux convois de marchandises allant à petite vitesse. Ainsi il détermine des frottements considérables par suite de l'inégalité du diamètre des roues, conséquence de l'usure

des jantes; il rend difficile le passage des courbes à faible rayon; en cas de glissement, soit au départ, soit par un temps humide, une machine dont les roues sont accouplées, éprouve des torsions considérables dans les principales pièces en mouvement (*voir* l'ouvrage de MM. Flachet et Petiet). Pour obvier à ces inconvénients, et surtout pour prévenir les chances d'accidents provenant d'une rupture des bielles, un ingénieur anglais, M. Melling, a employé avec succès sur le chemin de Liverpool un moyen fort simple de rendre les roues solidaires; il place entre elles un rouleau qui frotte avec une pression plus ou moins grande selon que l'on veut produire plus ou moins de solidarité. Ce rouleau est soulevé par de petits cylindres à piston dans lesquels on introduit la vapeur lorsqu'une augmentation d'adhérence est nécessaire. (*Transactions des ingénieurs civils anglais*, tome 2.)

De la vitesse. — Nous venons de passer successivement en revue toutes les causes d'accidents reconnues jusqu'à ce jour. Il nous reste à parler de la plus grave de toutes, de celle qui sans contredit appelle la plus sérieuse attention de la part des chefs d'entreprise, et réclame la surveillance la plus active de la part de l'autorité. Cette cause est l'excès de vitesse; faire parcourir aux locomotives plus de huit à dix lieues à l'heure, c'est exposer les voyageurs à des accidents dont les conséquences sont réellement incalculables. Avec une plus grande vitesse il devient extrêmement difficile aux conducteurs de se rendre maîtres de leur convoi. Les machines sont en quelque sorte entraînées par la vitesse acquise. Nous pensons donc que la première mesure à prendre pour prévenir le retour de la catastrophe du 8 mai, est bien certainement de limiter la vitesse à dix lieues dans les meilleures conditions. Cette vitesse devrait être considérée comme un maximum; car une telle marche est bien suffisante même pour les affaires les plus urgentes, à plus forte raison lorsqu'il s'agit de prome-

nades ou de parties de plaisir. Avec une vitesse de huit à dix lieues, il est toujours facile de prévenir tout accident ou du moins d'en rendre à peu près nulles toutes les conséquences. On a eu souvent l'occasion de s'en assurer par expérience sur le chemin de fer de Saint-Étienne.

Telles sont les diverses chances d'accidents auxquelles sont exposés les voyageurs sur les chemins de fer : elles sont malheureusement nombreuses et beaucoup d'entre elles sont inévitables. Il ne dépend pas de l'ingénieur, même le plus habile, et de l'administration la plus prudente de pouvoir les prévenir. Ces accidents peuvent arriver à tout moment, et l'expérience a prouvé combien leurs conséquences peuvent être désastreuses.

Examinons maintenant les principaux systèmes proposés dernièrement à l'Académie des sciences pour remédier à ces inconvénients ou du moins pour en annihiler en partie les résultats.

Meilleur système de locomotives. — Les locomotives à six roues présentent-elles plus de sécurité que les locomotives à quatre roues ? Cette question paraît être déjà tranchée d'une manière assez positive. Cependant nous croyons devoir présenter à ce sujet quelques observations.

Jusqu'à présent on a attribué la catastrophe du 8 mai à un mouvement de bascule produit par la suppression instantanée de l'essieu de devant, et dont la conséquence aurait été de déterminer un arrêt subit et par conséquent le choc violent cause de tout le mal. Nous en sommes intimement convaincus, c'est une erreur. Le mouvement de bascule a pu avoir lieu, mais ce n'est pas lui qui a produit l'arrêt subit. Cet arrêt a eu pour unique cause le déraillement occasionné par le passage de la machine sur les contre-rails, placés à la traversée du chemin vicinal. Sans ce contre-rail la machine aurait marché suffisamment pour sortir de la tranchée, et alors, en admettant que le déraillement ait eu lieu, la locomotive ne serait point venue

se briser contre le talus. Dans tous les cas, le déraillement étant la cause évidente du choc, l'accident aurait très-probablement été le même si la machine avait eu six roues au lieu de quatre.

Des essieux d'une machine locomotive, quel est le plus exposé à la rupture ? Sans contredit l'essieu moteur, l'essieu coudé ; sa fabrication présente les plus grandes difficultés ; et, en outre, il est exposé à des chocs et à des mouvements de torsion qui doivent altérer promptement sa constitution. Dans les machines à six roues, l'essieu coudé est toujours plus chargé que dans les machines à quatre. Ainsi, dans les premières, la charge varie entre 6 000 kilogrammes et 7 000 kilogrammes ; en général elle est de 6 800, tandis que pour l'essieu coudé des locomotives à quatre roues elle dépasse rarement 5 000 (voir l'excellent ouvrage de MM. Flachet et Petiet sur les *Machines locomotives*). Cette différence de poids nécessite une augmentation dans les dimensions de l'essieu coudé, et par conséquent augmente de beaucoup les difficultés de construction, et les chances de défaut dans le fer. Sous ce rapport, les machines à six roues présenteraient donc plus de chances d'accidents que celles à quatre. Suivant les partisans des machines à quatre roues, et nous partageons leur opinion, celles à six roues présentent les inconvénients suivants : 1° par suite de leur poids énorme elles détériorent plus rapidement les rails et l'ensemble des voies ; 2° la distance des essieux extrêmes ne permet pas leur emploi sur les chemins de fer dont les courbes ne sont pas d'un grand rayon ; 3° la charge est répartie d'une manière inégale sur les trois essieux (voir la lettre de M. Manby à M. Arago).

D'un autre côté, ces machines peuvent être beaucoup plus puissantes que celles à quatre roues, et en leur donnant la préférence, on peut former des convois plus considérables et dès lors moins fréquents. Cet avantage est

incontestable, et dans beaucoup de circonstances il doit faire préférer les machines à six roues.

Mais en résumé, les deux systèmes paraissent présenter à peu près autant de chances d'accidents. Il n'en est pas de même des locomotives en usage sur les chemins de fer d'Amérique, et qui depuis deux ans environ ont été importées en Europe. Deux de ces machines viennent d'être mises en activité sur le chemin de Saint-Étienne, et nous n'hésitons pas à les regarder comme préférables à toutes celles employées jusqu'à présent.

Ces locomotives offrent les avantages suivants :

1° Elles n'ont point d'essieu coudé.

2° Le mécanisme réduit à sa plus simple expression est entièrement à l'extérieur de la machine, et peut par conséquent être surveillé pendant la marche. Dans les locomotives généralement employées pour les voyageurs, cette surveillance nécessite l'arrêt, et de plus l'obligation de passer sous la machine.

3° Elles sont supportées par six roues, dont quatre d'un diamètre de 0.76, sont réunies sous un petit train particulier placé sous le devant de la machine. Ce train est mobile dans le sens horizontal ; les deux autres roues placées à l'arrière ont 1^m.22 de diamètre, et reçoivent directement le mouvement de la tige du piston. Cette disposition des roues permet à la machine de circuler dans les courbes de faible rayon, et dans l'hypothèse où l'un des deux essieux de devant viendrait à rompre, la marche peut continuer sans être exposée à aucun accident. L'expérience a confirmé ce fait, non pour des locomotives (le cas ne s'est pas encore présenté), mais pour des voitures dont les roues, au nombre de six et de huit, sont disposées de la même manière, c'est-à-dire fixées à un châssis susceptible de se mouvoir horizontalement.

4° Le poids total (eau et coke compris) est de 10 700 à 10 800 kilogrammes seulement.

5° L'économie de combustible a été reconnue être de 20 pour 100 sur les autres machines.

Quant à la puissance de ces machines elle est, eu égard à leur poids et au combustible consommé, plus grande que celle des autres locomotives.

De plus, la disposition du train de devant permet d'appliquer aux quatre roues dont il est formé un frein très-facile à manœuvrer et d'une très-grande puissance. En cas d'accident ce frein serait d'un grand secours.

Comme nous l'avons dit plus haut, la rupture des essieux coudés est beaucoup plus fréquente que celle des essieux droits. Les machines américaines n'ayant point d'essieu coudé, et la rupture de l'un des deux essieux de devant pouvant avoir lieu sans inconvénient, ces machines présentent évidemment les meilleures conditions de sécurité pour le transport des voyageurs.

Emploi de deux locomotives au même convoi. — L'emploi de deux machines locomotives pour le même convoi doit-il être interdit ? Règle générale, il est plus convenable de ne placer qu'une seule locomotive à un convoi ; mais il peut se présenter diverses circonstances qui exigent impérieusement deux machines. Ainsi, par exemple, pour franchir certains plans inclinés, situés sur le milieu de la ligne principale, tel est le cas des chemins de Croydon, Manchester, etc., où une machine de renfort est ajoutée aux convois ; la nécessité de former de grands trains, trop lourds pour une seule locomotive ; des rails mouillés par le brouillard ou couverts de verglas : sont autant de circonstances dans lesquelles l'emploi de deux machines locomotives est indispensable. Dans ce cas, le mieux est d'employer deux locomotives de force égale, et autant que possible du même système ; et si ces conditions ne peuvent être remplies, il est préférable de placer en tête la machine la plus puissante et non la plus faible. En effet, de deux choses l'une, ou l'accident arrivera à la pre-

mière locomotive, ou il aura lieu à la deuxième. Dans le premier cas, la machine la plus puissante étant en tête, il restera celle d'une force moindre pour détruire la vitesse acquise par le convoi. Elle sera peut-être insuffisante pour obtenir complètement cet effet; mais il y aura diminution dans la force du choc; et dans le cas où le conducteur effrayé abandonnerait la machine à elle-même, ou n'aurait pas le temps de la faire agir convenablement, on ne serait pas exposé à voir l'accident aggravé par l'excédant de puissance et de poids des deux machines. Dans le deuxième cas, celui où l'accident aurait lieu à la deuxième machine, l'avantage est encore plus évident, car on aura alors la locomotive la plus puissante pour arrêter le convoi; et dans l'hypothèse où son conducteur ne pourrait la faire manœuvrer à temps, cette machine du moins n'aggraverait pas l'accident.

On nous objectera sans doute que les conducteurs de locomotives étant toujours choisis parmi les hommes d'une intelligence et d'un sang-froid éprouvés, on n'a pas à craindre en cas d'accidents qu'ils ne prennent pas toutes les mesures nécessaires pour atténuer le mal. Ainsi, lors de la catastrophe du 8 mai, la deuxième machine avait, au moment de l'arrêt, son mécanisme disposé pour la marche en arrière. Son conducteur avait donc obéi au signal donné par M. **, et mis en usage les moyens dont il pouvait disposer pour arrêter le convoi. Ces faits sont positifs, mais ils pouvaient ne pas arriver, et alors l'accident eût été encore plus horrible. Rien ne prouve, du reste, que le conducteur ait été averti assez à temps et qu'il n'a pas exécuté sa manœuvre au dernier moment, c'est-à-dire lorsqu'elle ne pouvait être d'aucun effet.

Quant à l'emploi de deux locomotives placées l'une en tête, l'autre en queue, il devrait être sévèrement interdit. Une telle disposition est des plus vicieuses; elle expose les voyageurs aux dangers les plus graves.

Régulateur. — Reconnaissant la nécessité de limiter la vitesse des convois, on a proposé d'adapter aux locomotives un mécanisme qui, dans le cas où les roues dépasseraient une vitesse déterminée, fonctionnerait de manière à diminuer l'introduction de la vapeur dans les cylindres et par conséquent produirait une diminution dans la vitesse. Cette idée est sans aucun doute très-ingénieuse, et son application ne nous paraît pas présenter de difficultés sérieuses; mais un tel instrument n'aurait-il pas le grave inconvénient de faire promptement perdre aux conducteurs des machines l'habitude de se rendre un compte à peu près exact de la vitesse de leur marche. Ils se fieraient à cette espèce de régulateur; et dans le cas où un accident quelconque l'empêcherait de fonctionner convenablement, la locomotive serait abandonnée à une vitesse inaccoutumée, et par conséquent dangereuse.

Sur beaucoup de chemins de fer, et celui de Saint-Étienne est de ce nombre, l'un des conducteurs de chaque convoi est porteur d'un bulletin sur lequel on marque dans chacune des stations l'heure du départ et de l'arrivée. Ces bulletins, remis à la fin de la journée à un employé supérieur, permettent d'exercer un contrôle non interrompu et d'apporter dans la marche toute la régularité désirable.

Résistance de l'air. — On a proposé d'employer la résistance de l'air comme un frein tempéré. Pour cela, on a supposé une jalousie ou rideau en forte tôle, se déployant à un instant donné par l'effet d'un contre-poids aux ordres du machiniste. Cette idée, fort ingénieuse sans aucun doute, est due à l'illustre secrétaire de l'Académie des sciences. D'après les calculs de M. Pambour, on pourrait, au moyen de cet appareil, tripler instantanément la résistance de l'air et obtenir par conséquent un frein puissant. Mais que deviendra le résultat de ce système, lorsque le vent sera dans le sens de la vitesse du

convoi ? En général il sera nul, et dans beaucoup de cas, il pourrait être une cause aggravante. Il y a plus, pour obtenir l'effet constaté par M. Pambour, l'appareil devra présenter une certaine superficie dépassant en hauteur et en largeur la section du convoi, et dès lors il faudra donner une plus grande dimension aux percements, aux accotements et aux entrevoies ; évidemment ce système, très-séduisant en théorie, n'est pas applicable dans la pratique.

Un autre moyen a été proposé pour utiliser la résistance de l'air. M. *** , quelques jours après le 8 mai, soumit à l'Académie un système de pompes foulantes au moyen desquelles il se servait de l'élasticité de l'air pour détruire l'effet des chocs. Ce moyen était ingénieux et méritait, à notre avis du moins, un examen dont le résultat eût permis d'en apprécier les avantages et d'en reconnaître les inconvénients. Il y avait des expériences à faire ; on trouva plus simple et surtout plus facile, de faire des plaisanteries ; et parce que l'auteur exerce la profession de pharmacien, on se crut quitte envers lui en comparant sa machine à l'instrument qui formait autrefois le symbole obligé de l'officine d'un apothicaire.

Depuis, l'un de nos premiers constructeurs de machines, M. Pauwels, a soumis au ministre des travaux publics un système reposant absolument sur le même principe. Il consiste à placer sous le tender un cylindre dans lequel se meut un piston dont la tige aboutit à la première voiture. En cas d'arrêt de la locomotive, ce piston refoule l'air renfermé dans le cylindre et détermine ainsi une élasticité capable de détruire les effets des chocs les plus violents.

Comme nous ne connaissons pas les détails de cet appareil, nous nous bornerons à une simple observation. Son auteur a voulu paralyser l'effet d'un choc provenant d'un arrêt subit de la locomotive ; or, en admettant qu'il ait

complètement réussi, l'emploi de son système serait sans objet dans les accidents bien autrement nombreux qui surviennent aux voitures elles-mêmes, et surtout lorsque la locomotive, détournée de la voie, tend à entraîner à sa suite les voitures et à les précipiter avec elle en bas des talus.

Des en cas. — M. le marquis de Giac a proposé d'ajouter aux cadres des locomotives un double en cas en avant et en arrière dont l'extrémité concave raserait les rails à l'intervalle seulement de quelques centimètres, de manière à porter immédiatement sur ceux-ci au moment où l'un des deux essieux viendrait à rompre, avec ce système on empêcherait évidemment la machine de basculer; mais cet accident est rarement à craindre. Le déraillement occasionné par la rupture des essieux est bien plus fréquent et plus à redouter, et cependant le système des en cas ne pourrait le prévenir. Il en serait peut-être autrement, si pour ces en cas M. de Giac avait proposé comme M. Jules Seguin des roues et non des parties fixes. Mais l'un et l'autre de ces deux systèmes ne peuvent remédier qu'à l'une des nombreuses chances d'accidents auxquelles on est exposé sur les railways. Toutes les autres resteront sans préservatifs.

Enrayage général et subit. — M. le marquis de Jouffroy a proposé un système de freins combinés de manière à agir instantanément sur toutes les roues au moment même où les chaînes d'union des diligences cesseraient d'être tendues par la locomotive. Le mouvement de rotation des roues pourrait donc être détruit entièrement. Mais il resterait encore celui du glissement sur les rails, mouvement dont M. de Jouffroy n'a pas tenu compte, et qui cependant est très-considérable, surtout lorsque les rails sont humides. D'ailleurs, dans le cas d'un accident semblable à celui du 8 mai, le mécanisme de M. de Jouffroy serait complètement inutile. L'arrêt étant subi, le

système de freins le mieux organisé ne serait d'aucun effet, il n'aurait pas le temps d'agir.

Indépendamment de l'inconvénient de ne pouvoir être utile en cas d'arrêt subit, le système de M. de Jouffroy présente dans son application une assez grande difficulté. Ainsi à la descente des plans inclinés, les chaînes ne sont jamais tendues; les voitures se touchent, surtout si, comme cela a lieu constamment, le conducteur placé en tête du convoi fait agir son frein pour modérer la vitesse; dans ce cas, le système de M. de Jouffroy agissant sur toutes les voitures à la fois formerait obstacle à la marche du convoi, et loin d'être utile il deviendrait un inconvénient. Il en serait de même sur un plan horizontal. Une foule de causes peuvent retarder ou activer la marche de l'une des voitures, qui en effet se tiennent rarement à la même distance. Il y aurait donc fréquemment cessation de tension des chaînes, et le frein agirait alors sans aucune utilité et par conséquent entraverait la marche.

Sur beaucoup de chemins de fer on réunit les diligences par des liens rigides. Ce système d'attache rendrait impossible l'action du frein proposé par M. de Jouffroy.

Dans tous les cas l'enrayement complet et instantané n'empêcherait pas les diligences, dans le cas d'un déraillement de la locomotive, d'être entraînées par elle au bas du remblai et d'y être renversées.

Le principe des systèmes de M. de Jouffroy n'est pas nouveau. Il a été appliqué en 1832 sur le chemin de Saint-Étienne par le sieur Verpilleux, mécanicien à Rivede-Gier. L'expérience l'a promptement fait abandonner.

M. Thénard, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a présenté un système d'enrayage subit ayant une très-grande analogie avec celui de M. de Jouffroy. Nous ne le connaissons pas suffisamment pour être à même d'en apprécier

les dispositions ; selon toute apparence les observations précédentes lui sont applicables.

Waggon préservatifs. — On a proposé de placer à l'avant et à l'arrière des diligences, un certain nombre de waggon vides ou chargés de marchandises pour préserver les voyageurs des conséquences d'un choc produit soit par un arrêt subit du remorqueur, soit par une collision de convois. Cette mesure présente les inconvénients suivants :

1° Dans l'hypothèse où un accident, une rupture de roue ou d'essieu, par exemple, arriverait à l'une des diligences, le système de waggon vides ou chargés serait pour le moins inutile. Il en serait de même dans le cas où la locomotive venant à dérailler serait précipitée en bas d'un talus.

2° En augmentant le nombre des essieux on augmente nécessairement la chance des accidents. Par conséquent si les waggon proposés peuvent prévenir les suites de la rupture de l'un des essieux de la locomotive, ils exposent les voyageurs aux conséquences des accidents auxquels ils sont sujets eux-mêmes.

3° Peu de chemins de fer se trouvent dans la possibilité d'avoir des waggon de marchandises à mettre à chaque convoi de voyageurs.

4° Vu les chances d'incendie auxquelles sont exposés les premiers waggon d'un convoi par suite des flammèches et des morceaux de coke lancés par les cheminées des locomotives, malgré les toiles métalliques placées à l'extrémité de ces cheminées, il faudra que ces waggon à marchandises soient d'une forme particulière, c'est-à-dire fermés par le haut comme les impériales de diligences. La prudence exigera même que ces waggon soient chargés de matières peu inflammables. Par conséquent, les compagnies seront obligées d'avoir un matériel spécial et beaucoup trop coûteux pour le transport des marchandises

A l'appui de cette observation, nous citerons l'incendie qui a eu lieu le 9 juillet 1842, sur l'un des convois mixtes du chemin de Birmingham à Gloucester; quatre waggons de marchandises furent entièrement brûlés. Quant aux voyageurs ils parvinrent à s'échapper à temps des voitures. Cet incendie fut occasionné par une étincelle partie de la cheminée de la locomotive.

Dernièrement encore sur le chemin de fer de Nîmes une locomotive remorquant un convoi mixte sortit brusquement des rails et alla se heurter contre le talus. Elle fut renversée, et en un instant les deux premiers waggons chargés de tonneaux d'eau-de-vie furent enflammés par les morceaux de charbon sortis de la locomotive.

5° Placer des waggons de marchandises en tête d'un convoi de voyageurs, c'est courir la chance d'une foule d'accidents que peut occasionner la chute d'un objet mal chargé. Ainsi, le 7 août 1840, sur le chemin de Hull à Selby, un morceau de fer tombé d'un wagon de messagerie a fait dérailler un convoi de voyageurs; cinq personnes furent tuées et neuf ont été grièvement blessées.

6° Sur beaucoup de lignes les waggons proposés auraient l'inconvénient d'augmenter la traction de manière à forcer les administrateurs à augmenter le nombre des convois, et par conséquent à multiplier les chances d'accidents.

Ajoutons encore que beaucoup de compagnies ne pourraient supporter cette augmentation de frais. Elles seraient de toute nécessité dans l'obligation d'élever le prix des places de voyageurs, et dès lors le but principal des chemins de fer ne serait plus atteint.

**Parachoc de M. Franchot.* — M. Franchot, ingénieur-mécanicien, a soumis à l'Académie un système très-ingénieux pour paralyser les effets des chocs, et dont le journal de la *Revue de l'architecture* donne la description suivante :

« Des barres de fer parallèles, croisées avec d'autres barres également parallèles, et articulées aux points de croisement, composent une sorte de châssis ou de paroi extensible dans laquelle tous les intervalles compris entre les deux séries de barres peuvent former des parallélogrammes variables, depuis le carré jusqu'au losange le plus allongé.

» Deux parois ainsi composées forment les faces verticales du parachoc; ces faces sont reliées entre elles par trois ou cinq séries d'entretoises, et l'ensemble de cet appareil, monté sur deux paires de roues, constitue un char très-rigide dans sa hauteur et sa largeur, mais dont la longueur peut se réduire aux deux diamètres des roues contiguës, ou prendre une extension trois ou quatre fois plus grande. »

La longueur totale de cet appareil est de 12 mètres; après le choc elle peut être réduite à 3 mètres. Quant au poids l'auteur ne l'indique pas : mais évidemment il doit être assez considérable.

Cette extrême longueur est sans aucun doute un grave inconvénient. Sur beaucoup de chemins où les courbes ont un faible rayon, elle suffirait pour rendre l'appareil inapplicable. A cette objection, M. Franchot fait observer que son parachoc peut être divisé en plusieurs parties. Mais alors il faut augmenter le nombre des roues et des essieux, et par conséquent les chances de déraillement et les frais de traction.

Les observations faites précédemment, au sujet des systèmes proposés pour employer la résistance de l'air, nous paraissent applicables au parachoc de M. Franchot. En effet, si cet appareil paralyse complètement les chocs provenant d'un arrêt subit de la locomotive, il ne serait d'aucun secours en cas d'accident arrivé à l'une des diligences, et à plus forte raison lorsque la locomotive, par

suite d'un déraillement, se précipiterait au bas d'un talus et entraînerait une partie des diligences avec elle.

Nous ferons encore une observation.

Dans le cas d'un déraillement de la locomotive, le tender et le parashoc seront entraînés, et se trouveront placés obliquement par rapport aux voitures. Le mécanisme frappé ainsi de côté, fonctionnerait-il convenablement? Nous en doutons: puis nous demanderons de quel effet sera le parashoc dans les cas si nombreux où par suite d'un déraillement le tender et les waggons suivants sont renversés. Probablement les voitures seront précipitées les unes sur les autres, comme si le parashoc n'existait pas.

Ces observations sont également applicables aux systèmes proposés pour l'emploi de la résistance de l'air.

Tels sont les principaux moyens présentés à l'Académie des sciences et dont l'apparition est due à la catastrophe du 8 mai. Nous ne nous sommes occupés que de leur ensemble ou plutôt de leurs principes. Quant aux détails de construction, nous regrettons vivement de ne pas les connaître et de n'avoir pas été à même d'examiner si leur application au matériel des chemins de fer ne présentait pas de grandes difficultés. En résumé, tous ces systèmes, fort ingénieux du reste, sont évidemment loin de pouvoir prévenir les accidents et d'en atténuer les conséquences. Ce fâcheux résultat doit être attribué entièrement au manque de pratique de la part des auteurs, et surtout à l'absence, on peut dire totale, où ils se trouvent de la connaissance exacte des circonstances si variées que présentent les accidents sur les railways. Avons-nous été plus heureux que ces messieurs? Nous allons en faire juges nos lecteurs.

Moyens d'obtenir la sécurité des voyageurs. — Pour donner aux voyageurs toute la sécurité désirable, nous avons reconnu, non depuis le 8 mai, mais depuis plusieurs

années, que le seul moyen était de trouver la solution complète des problèmes suivants :

1° Rendre instantanément un convoi de diligences indépendant de son remorqueur, quelles que soient la vitesse et la nature des accidents.

2° Détruire sans secousse et dans le moins de temps possible la vitesse acquise par un convoi, soit lorsqu'il est lancé sur un plan incliné, soit au moment où il est séparé de la locomotive.

3° Établir une prompte et facile communication entre tous les gardes ou conducteurs d'un convoi.

Evidemment tout chemin de fer ayant un matériel à même de présenter la solution de ces problèmes, offrira aux voyageurs toutes les chances possibles de sécurité. Pour obtenir un pareil résultat, nous avons pris depuis quatre ans les dispositions suivantes :

Waggon intermédiaires. — 1° Entre le tender et le convoi des voyageurs est toujours placé un waggon léger, portant seulement un essieu de rechange et destiné à éloigner suffisamment la première voiture de la locomotive.

Frein des diligences. — 2° Toutes les diligences sont munies d'un frein assez puissant pour empêcher en très-peu de temps les roues de tourner.

Personnel. — 3° En général il y a un conducteur par chaque diligence. Jamais on ne confie plus de deux voitures à un seul homme.

Machine à décrocher. — 4° La première voiture de chaque convoi est garnie d'un mécanisme au moyen duquel le conducteur, tout en faisant fonctionner le frein, détache le convoi du remorqueur. Cette dernière opération se fait avec la plus grande rapidité; il suffit, pour que le décrochage ait lieu, que le conducteur fasse parcourir à la manivelle de son frein 0^m.20 seulement, c'est-à-dire un quart de tour, manœuvre qui exige un temps réellement inappréciable; et afin de prévenir

toute erreur, le mécanisme fonctionne quel que soit le sens dans lequel on fasse manœuvrer cette manivelle; ainsi, en cas de danger, on n'a pas à craindre les effets souvent inséparables d'un mouvement irréfléchi ou d'une trop grande précipitation. De plus, il est expressément enjoint au conducteur de ne pas abandonner un seul instant la manivelle du frein; il doit constamment l'avoir à la main, et l'observation rigoureuse de cette prescription est soumise à une surveillance active de la part de l'inspecteur de chaque convoi.

Afin de donner une plus grande sécurité aux voyageurs, on pourrait mettre une machine à décrocher au waggon intermédiaire qui précède la première voiture. On serait alors certain qu'en cas de danger, le convoi serait toujours détaché par l'un des deux décrochages. Déjà, en 1840, nous avions placé entre le waggon et la première voiture un fourgon contenant les bagages et auquel était également adaptée une machine à décrocher. Cette mesure, suspendue par suite des difficultés du passage du pont de la Mulatière, enlevé par la crue de 1840, va être remise en activité.

Notre machine à décrocher est celle dont MM. Biot, Perdonnet et de Pambour ont cité dernièrement à l'Académie des sciences la simplicité et surtout l'efficacité.

Emploi du sable. — 5° Sous les pieds du conducteur de la première voiture se trouve placée une pédale formant l'extrémité d'un levier aboutissant à l'axe d'une caisse pleine de sable fin et très-sec. Cette caisse est placée sous la banquette du coupé. En mettant le pied sur la pédale le conducteur fait tourner la caisse, et alors le sable est versé dans deux conduits qui le dirigent entre les roues et les rails. On obtient ainsi une augmentation de frottement considérable.

Sur un plan incliné tel que celui de Saint-Étienne à Rive-de-Gier, c'est-à-dire sur une pente de 0^m.014 par

mètre, lorsque la surface de roulage des rails est un peu humide, un convoi de cinq à six voitures ayant chacune un frein, parcourt avant de s'arrêter complètement, une distance de près de 200 mètres, quels que soient d'ailleurs les soins pris par les conducteurs de faire agir les freins. On conçoit en effet que le mouvement de rotation étant brusquement détruit par l'action des freins, est aussitôt remplacé par un glissement qui a lieu jusqu'à ce que la vitesse acquise par le convoi, soit complètement détruite par le frottement des jantes contre les rails. En employant le sable, ce glissement est très-promptement détruit, et l'on peut par conséquent avoir la certitude d'arrêter facilement et en très-peu de temps un convoi lancé sur un plan incliné, et à plus forte raison lorsque circulant sur une partie horizontale on détache subitement la locomotive. Dans ce cas la vitesse acquise n'étant pas réunie à l'action de la gravité, il est facile de la détruire et par conséquent d'éviter les conséquences des accidents survenus à l'une des diligences.

L'emploi du sable pour détruire la vitesse acquise d'un convoi a cela d'avantageux que plus le rail est humide et par conséquent favorable au glissement des roues, plus le sable s'y attache et mieux il opère. Ainsi c'est précisément dans les circonstances les plus défavorables à la sécurité des voyageurs que le sable agit avec le plus d'efficacité.

Communication rapide entre toutes les diligences d'un convoi. — Cloches au moyen desquelles les conducteurs de tout un convoi correspondent entre eux. — 6° Sur les chemins de fer d'Angleterre, de Belgique et des environs de Paris, il n'existe aucun moyen de communication d'une voiture à une autre. La personne chargée de la surveillance de tout le convoi peut très-difficilement se faire entendre du conducteur de la locomotive. Pour transmettre ses intentions, cet inspecteur emploie une trompette dont l'embouchure devient d'autant plus difficile à

trouver que le danger est plus grand. Souvent même l'émotion l'empêche de se servir de cet instrument. On conçoit dès lors combien il est difficile de prévenir les conséquences d'un accident arrivé à l'une des diligences d'un convoi. Il n'en est pas ainsi sur le chemin de Saint-Etienne. Nous avons depuis cinq ans remplacé les trompettes par de fortes cloches placées à l'arrière de chaque voiture, et dont le battant est mis en mouvement par un fil de fer dont l'extrémité est placée sous la main du conducteur. Dans le cas où l'un des conducteurs s'aperçoit d'un dérangement quelconque dans la marche des voitures, il fait aussitôt mouvoir sa cloche; au même instant tous les autres lui répondent et serrent immédiatement les freins, tandis que celui de la première voiture décroche le convoi, et au besoin fait tomber le sable sur les rails. Par cette manœuvre des plus simples, on arrête subitement le convoi, et les voyageurs sont préservés de toutes les conséquences d'accidents.

Bien que depuis la mise en activité des moyens de sécurité dont nous venons de rendre compte, nous ayons eu mainte occasion d'en reconnaître la complète efficacité; bien qu'ils aient à plusieurs reprises prévenu des accidents dont les conséquences eussent été des plus déplorables, nous n'avons pas cru devoir ralentir nos recherches, nous nous sommes efforcé au contraire d'amener au dernier degré de perfection dans son ensemble comme dans ses détails, le système dont nous avons fait une aussi heureuse application. Ainsi, comme on a dû le voir, à l'apparence d'une déviation dans la marche de la locomotive, le conducteur de la première diligence était jusqu'à présent obligé d'opérer trois mouvements. Il faisait d'abord jouer le décrochage, puis d'un coup de pied sur la pédale il renversait le sable sur les rails, et ensuite il sonnait pour avertir les conducteurs des autres diligences de fermer leurs freins. Il était souvent difficile d'exécuter ce

troisième mouvement en temps utile. Il pouvait même arriver que le conducteur obligé d'employer ses deux mains à serrer son frein, fût dans l'impossibilité d'agir sur la cloche. Pour remédier à un aussi grave inconvénient, nous venons de placer, sur l'impériale de la première voiture, une sonnerie composée de six timbres, sur lesquels frappent des marteaux aussitôt que le conducteur pose le pied sur la pédale de la caisse à sable; cette sonnerie fonctionne pendant quelques minutes, et le son en est réglé de manière à être entendu des autres conducteurs sans cependant effrayer les voyageurs. Le conducteur de la première voiture n'a donc plus que ces deux mouvements à opérer. Cette double manœuvre peut être faite en un clin d'œil et n'exige *ni intelligence ni adresse*. Nous aurions pu faire dépendre cette sonnerie de la machine à décrocher; c'était chose des plus faciles: mais, vu la nature du service sur notre chemin, nous avons préféré la rendre dépendante de la trémie à sable. Nous avons conservé la cloche ordinaire afin de laisser au conducteur de la première voiture la faculté de correspondre avec ses camarades pour augmenter ou diminuer la vitesse en faisant fonctionner les freins.

Autres avantages de la machine à décrocher. — Indépendamment d'une extrême sécurité pour les voyageurs, notre système de décrochage présente l'avantage de faciliter beaucoup le service. Ainsi, pendant deux années, nous avons été obligés de faire conduire nos convois de diligences par huit ou dix chevaux depuis la station de Perrache jusqu'à l'entrée du tunnel de la Mulatière. A 100 mètres de ce dernier point on lançait les chevaux au grand trot et à l'entrée même du tunnel on détachait les chevaux au moyen du décrochage, et alors les voitures profitant de la vitesse acquise, franchissaient sans remorqueur le tunnel dont la pente est de 0^m.0057, et la longueur de 478 mètres. Avant l'emploi de notre machine à décrocher, on était

obligé pour faire ce trajet de mettre un cheval à chaque convoi de diligences. Au moindre faux pas le cheval, ne pouvant retenir le convoi, était renversé, et les voitures se trouvaient exposées aux conséquences d'un déraillement dans un tunnel ayant à cette époque 3^m.50 de largeur seulement.

Le même procédé de décrochage nous permet en arrivant à Perrache de faire entrer les diligences sous le hangar formant la station provisoire, tandis que la locomotive passe sur une voie placée en dehors. Cette manœuvre s'exécute sans ralentir la marche. Elle a le grand avantage de séparer la locomotive des voyageurs et de simplifier beaucoup le service en dispensant de faire reculer les diligences pour sortir la locomotive de la station.

Nous allons maintenant rapporter des faits qui prouvent toute l'efficacité de nos procédés.

Accidents prévenus par les procédés ci-dessus. — Le 12 avril 1840, un convoi de voyageurs, composé de sept voitures contenant 142 personnes, se trouvait en face du village de Saint-Romain, entre Givors et Rive-de-Gier, lorsque des rails de droite s'étant rompus la locomotive sortit brusquement de la voie. Le sieur Lacroix, conducteur de la première voiture, fit aussitôt fonctionner le décrochage ainsi que la trémie à sable, et le convoi s'arrêta instantanément, tandis que la locomotive entraînant avec elle le tender et le waggon portant l'essieu de rechange traversa l'accotement, et tous les trois roulant sur eux-mêmes furent précipités au bas du talus dont la hauteur est de 15 mètres.

L'arrêt du convoi fut si prompt que la première voiture ne déraila même pas. Quant aux secousses, il n'y en eut aucune, et les voyageurs ne s'aperçurent du danger auquel ils venaient d'échapper que par la suspension de la marche.

Sur tout autre chemin de fer les voitures auraient été

entraînées par la locomotive , et Dieu sait ce qu'il en serait résulté pour les 142 voyageurs.

Un événement semblable arriva le 3 août 1841. La locomotive remorquant les voyageurs déraila subitement sur la rampe conduisant à la station de Perrache et alla tomber en bas du talus, entraînant le tender avec elle, tandis que les voitures détachées et arrêtées instantanément n'éprouvèrent même pas la moindre secousse. Tout dernièrement encore , dans le courant de juin , la locomotive , près d'entrer dans la station de Perrache, déraila subitement , et si la vitesse acquise par les voitures n'eût pas été instantanément détruite , nul doute que la locomotive , poussée par le convoi , serait tombée dans le bassin au bord duquel elle s'est arrêtée. Les voitures auraient certainement été entraînées avec elle. Cet accident eût été d'autant plus grave que ce bassin est très-profond.

En cet endroit , le 13 juillet dernier , le même fait se présenta. Le déraillement fut occasionné par une roue de devant de la locomotive dont le rebord ou boudin se trouvait en mauvais état. La machine , après avoir traversé l'autre voie , alla s'arrêter au milieu du talus du bassin , dans lequel elle aurait bien évidemment entraîné les diligences , si l'on n'avait point fait fonctionner la machine à décrocher.

Sur le plan incliné de Saint-Étienne , la trémie à sable nous a souvent préservés de graves accidents ; grâce à elle nous avons pu empêcher les diligences de venir se heurter contre des convois de charbons , subitement arrêtés par la rupture d'un essieu ou d'une roue. Dans d'autres circonstances , elle a mis à même le conducteur de la première voiture , en diminuant instantanément la vitesse du convoi , d'aller mettre en ordre les aiguilles ou parties mobiles d'un changement de voie , que la malveillance avait déplacées. Ainsi , en mai 1840 , le convoi de diligences arrivant à Rive-de-Gier avec une grande vitesse , allait entrer

dans la voie où stationnent les waggons chargés de charbons, lorsque le conducteur s'apercevant que les aiguilles avaient été déplacées, fit aussitôt manœuvrer la trémie à sable et le convoi fut arrêté. Selon toute apparence, le conducteur n'ayant pu apercevoir le danger qu'à une très-courte distance, vu la courbe, et la tranchée formée par le chemin, il lui eût été impossible de prévenir à temps les autres conducteurs pour faire agir tous les freins; et en admettant même que cette manœuvre eût pu être faite convenablement, l'action des freins aurait sans doute atténué la violence du choc, mais les voyageurs n'en auraient pas moins été exposés à recevoir de fortes contusions.

Enfin, nous citerons l'accident qui a failli arriver à M. le Ministre des travaux publics, lors de sa visite du chemin de fer, en septembre 1841. La voiture dans laquelle il se trouvait descendait de Saint-Étienne, lorsqu'au moment même où elle allait sortir du tunnel d'Isieux, un waggon chargé de terre et poussé par des ouvriers, changeait de voie et par conséquent barrait le passage. Dans cet endroit le chemin formant une courbe dont le rayon est de 510 mètres, nous ne pouvions apercevoir ce waggon qu'à une distance de 30 à 35 mètres au plus. Le choc était imminent. Mais grâce à la trémie, la diligence fut arrêtée presque immédiatement et sans aucune secousse. Quant au frein, son action eût été insuffisante, parce qu'en admettant son maximum d'effet, c'est-à-dire qu'il fût parvenu à empêcher complètement les roues de tourner, la vitesse acquise par la diligence, jointe à l'action de la gravité sur un plan incliné de $\frac{1}{4}$ et à l'état d'humidité où les rails sont toujours dans un tunnel, aurait fait glisser les roues et nous aurait bien évidemment amenés sur le waggon de terrassement.

Nous pourrions encore citer beaucoup d'autres faits, mais il nous suffira sans doute de faire observer que nous n'a-

vons eu aucun accident à déplorer depuis l'emploi de nos procédés, et cependant notre chemin se trouve dans les conditions les plus défavorables. Ainsi, sur une longueur de 58 kilomètres, il présente un développement de courbes dont la longueur est de 31 kilomètres, et dont le rayon est en général de 500 mètres. Le nombre des tunnels est de 14 dont deux, ayant ensemble une longueur de 2500 mètres, sont à une seule voie. Le profil en long se compose d'une partie à peu près horizontale et de 2 plans inclinés ayant l'un une pente de 14 millimètres par mètre, sur une longueur de 21 kilomètres, et l'autre une inclinaison de 0.^m006 sur une longueur de 15 kilomètres. La rupture des roues de waggon ou de diligences est au minimum de 200 par mois. Ajoutons enfin, que la circulation des piétons n'ayant jamais pu être interdite dans un pays où la population est tout à la fois très-nombreuse et des moins sédentaires, et où d'ailleurs les chemins ruraux sont multipliés à l'infini et coupent à chaque instant le chemin de fer, nous sommes continuellement exposés aux accidents provenant de pierres mises sur les rails ou d'aiguilles déplacées, et cependant malgré cette réunion de circonstances défavorables, la compagnie transporte annuellement 600 000 tonnes de marchandises et 500 000 voyageurs.

Nous terminerons cette note par quelques détails sur un nouveau système de diligences dont l'expérience a démontré jusqu'à la dernière évidence la supériorité sur celles employées sur les autres chemins de fer.

Nouveau système de diligences. — D'après de nombreuses expériences l'écartement des essieux de diligences pour un chemin de fer dont les courbes ont en général 500 mètres de rayon, avait été limité à 1^m.35. Cette quantité était même réduite à 1^m.10 pour les waggon employés au transport des charbons. Au delà de 1^m.35 le parallélisme des essieux augmentait d'une manière notable

le frottement des rebords des roues dans les parties courbes. Ainsi, sur le plan incliné de Rive-de-Gier à Givors dont la pente est de $0^{\text{m}}.006$ par mètre, l'action de la gravité devenait insuffisante pour faire descendre les diligences sans remorqueur, même en ayant soin de rendre les rails humides. D'un autre côté la caisse des diligences ne pouvait avoir moins de $5^{\text{m}}.60$ de longueur. Par conséquent, nous avions à chaque extrémité des porte-à-faux considérables qui tendaient à faire basculer la voiture et augmentaient la résistance à la traction par le frottement produit à chaque secousse.

Ces porte-à-faux, dont la longueur pour celui de devant allait jusqu'à $2^{\text{m}}.40$, avaient en outre l'inconvénient de détruire promptement l'ensemble de la charpente, et en cas de choc de permettre aux parties inférieures des diligences de monter les unes sur les autres, et de compromettre ainsi la sûreté des conducteurs et des voyageurs placés sur les banquettes réservées à l'extérieur. La longueur des diligences était donc limitée.

D'un autre côté, cette prétendue nécessité de conserver le parallélisme des essieux mettait les ingénieurs dans l'obligation d'augmenter le rayon des courbes dont le minimum était reconnu devoir être de 500 mètres.

Détruire de tels inconvénients, c'est-à-dire construire des voitures présentant à la fois une plus grande longueur et plus de sécurité pour les voyageurs, et qui puissent en outre circuler avec diminution de frottement dans des courbes d'un faible rayon, tel est le problème dont nos voitures présentent maintenant la solution complète et constatée, non par une expérience de quelques voyages faits sur un chemin construit *ad hoc*, mais bien par une circulation des plus actives pendant deux années entières sur un railway dont le service, comme nous avons eu déjà l'occasion de le faire observer, présente toutes les chances possibles d'avaries.

Notre première voiture fut mise en activité en février 1840, et depuis cette époque nous en avons mis quinze en circulation. Les unes contiennent trente-deux personnes intérieurement et sont supportées par six ou par huit roues. Les autres, et ce sont les dernières construites, peuvent contenir intérieurement quarante places. Le nombre de roues est de huit. Dans toutes, la largeur est fixée comme dans les anciennes voitures à 2^m.00 extérieurement. Elles ne peuvent par conséquent contenir que quatre places dans le sens de la largeur. Cette quantité est limitée par l'entrevoie du chemin qui ne dépasse pas 1^m.00.

Voitures à huit roues. — Dans les voitures à huit roues, la caisse est supportée par deux plates-formes ou trains espacés de 4^m.10 et garnis chacun de deux essieux entièrement semblables à ceux des waggons employés pour le transport du charbon et dont les centres sont à 0^m.94 l'un et l'autre. Le plancher de la caisse est à 0^m.85 seulement du dessus des rails. Chaque train peut se mouvoir dans le sens horizontal autour d'une cheville ouvrière placée au centre et qui pénètre dans l'une des pièces de la charpente du châssis inférieur de la caisse. Pour faciliter ce mouvement, on a placé entre la caisse et la plate-forme un certain nombre de rondelles en fer parfaitement dressées et entre lesquelles on introduit de l'huile ou de la graisse. Par cette disposition, le frottement produit au passage des courbes par le boudin des roues contre la face verticale des rails, suffit aussitôt qu'il se manifeste pour faire mouvoir horizontalement le train et pour rendre son axe normal à la courbe du chemin. Ce mouvement nous permet de faire circuler tous les jours nos nouvelles diligences dans des courbes dont le rayon est de 45 mètres au plus. Telles sont celles placées à l'angle de la caserne de Perrache, ainsi qu'à l'entrée du pont de la Mulatière et sur les divers embranchements de cette station.

La suspension a lieu au moyen de huit ressorts placés entre les pièces de bois formant les sablières du train. Le milieu de chacun d'eux repose directement sur les essieux. Ce système est des plus simples; il dispense des manettes, des tiges et autres ferrements employés ordinairement soit pour fixer les ressorts aux caisses, soit pour les mettre en rapport avec les essieux. Il a de plus le précieux avantage d'abaisser le plancher des diligences, et par conséquent le centre de gravité de l'ensemble; quant aux frais d'entretien, ils se trouvent conséquemment diminués de beaucoup.

Dans les premières voitures que nous avons construites, les sablières de chaque train contenaient à leur surface supérieure des galets sur lesquels venaient reposer les sablières de la caisse de la diligence. Mais afin de faciliter le mouvement de rotation des trains, nous avons élevé la caisse de manière qu'elle repose maintenant en totalité sur les rondelles traversées par la cheville ouvrière. Cette modification a rendu beaucoup plus facile le mouvement du train et a procuré à l'ensemble de la voiture une suspension des plus douces.

Voitures à six roues. — Dans les diligences à six roues, la caisse repose sur trois petits trains espacés de 2^m. 10 et garnis chacun d'un seul essieu. La disposition de ces trains est du reste la même que pour les voitures à huit roues.

Au passage des courbes, les chevilles ouvrières des plates-formes devraient se trouver sur une courbe correspondante à l'axe du chemin; s'il en était autrement, l'essieu du milieu, quoique normal aux rails, exercerait contre eux un très-grand frottement. Pour obvier à ce grave inconvénient, nous aurions pu ménager à la cheville ouvrière du train intermédiaire la faculté de se mouvoir dans le sens transversal de la voiture; il suffisait pour cela, de remplacer par une ouverture longitudinale le

trou cylindrique au moyen duquel elle traverse le châssis de la diligence. Nous avons préféré rapprocher les deux supports qui maintiennent l'essieu, et donner à la fusée une plus grande longueur au passage des courbes. Cette disposition permet au centre de l'essieu de ne pas correspondre à l'axe de la voiture. Il s'avance vers le centre de la courbe d'une quantité à peu près égale à la flèche de la corde déterminée par les deux extrémités des autres essieux.

Les voitures à six roues ont sur celles à huit l'avantage de présenter moins de frottement, par la raison fort simple que le parallélisme des deux essieux de chaque train des voitures à huit roues, exige un plus grand effort pour donner aux trains une position normale à la courbe des rails. D'un autre côté les voitures à huit roues offrent beaucoup plus de sécurité pour les voyageurs, et cette importante considération les a fait définitivement préférer.

Pour amortir les secousses produites soit par la traction soit par les chocs des voitures les unes contre les autres, nous avons substitué aux ressorts ordinaires employés jusqu'à présent, une disposition dans laquelle l'élasticité est produite par la résistance que présente à la torsion une certaine quantité de lames d'acier simplement superposées.

Cette substitution nous a procuré une grande économie dans l'établissement et surtout dans les frais d'entretien. Le même système a depuis été appliqué avec beaucoup d'avantages aux machines et aux tenders.

A notre système on objectera sans doute que les roues étant fixées aux essieux, nous devons, au passage des courbes, éprouver l'augmentation de frottement produite par le glissement des jantes. En réponse à cette objection, nous citerons le passage suivant de l'excellent mémoire de M. Wissocq sur les frottements et les résistances dans les circuits des chemins de fer (page 7) :

« D'où l'on voit qu'il ne peut y avoir qu'un bien faible avantage à rendre les roues indépendantes des essieux, parce que le chiffre qu'on en retire n'est qu'une diminution de résistance égale à 0.2 de l'effet de traction en ligne droite; et cependant dans nos calculs nous avons pris 0.3 pour le coefficient du frottement de la jante sur le rail ou du fer sur la fonte : que serait-ce donc si nous avions pris le chiffre de 0.192 donné par les dernières expériences de M. Morin sur le frottement (3)? »

« Ceci explique pourquoi tous les essais qui ont été faits de chariots à roues indépendantes dans la persuasion que la principale cause de résistance dans les courbes était le frottement à la jante, n'ont pas répondu à ce qu'on en attendait et ont été abandonnés, non-seulement à cause des inconvénients que présentaient ces systèmes dans la ligne droite, mais encore parce qu'ils ne donnaient réellement aucun résultat utile dans les courbes. »

Observons encore que dans le système ordinaire, quand un waggon circule dans une courbe le rebord des roues exerce un frottement continuél contre les rails; avec nos nouvelles diligences, ce frottement aussitôt qu'il se manifeste fait opérer aux trains un mouvement de rotation, et alors les essieux devenant normaux, le frottement cesse d'avoir lieu. En résumé, avec les diligences ordinaires le frottement au passage des courbes est continuél, tandis qu'avec nos voitures il ne se manifeste qu'au changement de direction, c'est-à-dire au passage d'une droite à une courbe et réciproquement.

Quant à la force nécessaire pour faire mouvoir les trains autour des chevilles ouvrières, nous ferons observer que la pression de la caisse sur les trains ayant lieu par l'in-

(3) Nous ferons observer que ce dernier chiffre est celui du frottement de deux surfaces planes et qu'il doit être certainement moindre pour celui qu'éprouvent des roues tournant sur des rails.

termédiaire de plusieurs rondelles superposées et graissées, et la longueur du levier étant au minimum de 0^m.80, la force nécessaire ne peut être que très-faible. La vitesse acquise par le convoi suffit, et même au delà, pour la produire; l'expérience nous l'a prouvé plus d'une fois.

On a longtemps prétendu, et cette assertion a été reproduite dernièrement dans le journal des chemins de fer (voir le n^o de juillet 1842), que deux essieux isolés ne pouvaient marcher sans dérailer. L'expérience nous a démontré le contraire; ainsi, ayant supprimé l'essieu du milieu aux voitures à six roues, nous avons dans cet état fait circuler plusieurs diligences *pendant huit mois*, sans qu'*aucune d'elles* soit jamais sortie des rails, bien que la vitesse de la marche fût de huit à dix lieues à l'heure. Le même résultat a eu lieu pour les voitures à six roues.

Comparées aux diligences à quatre roues, les nôtres présentent les avantages suivants :

Avantage des nouvelles voitures.—1^o La caisse est peu élevée au-dessus du sol, et sa charge est beaucoup mieux répartie; par conséquent la diligence est moins sujette à se disloquer et à verser ;

2^o La rupture d'un essieu ou d'une roue ne peut amener aucun accident et n'empêche pas le convoi de continuer sa marche; elle ne produit pas même de secousses dans l'intérieur de la diligence. Ainsi, le 20 février 1841, une roue s'était entièrement brisée à l'une de ces voitures vis-à-vis l'ancien relai du village d'Irigny. Le convoi ne fut arrêté que sur l'avertissement d'un cantonnier qui, de loin, avait vu les débris de la roue tomber sur les rails. Quant au conducteur et aux voyageurs de cette diligence, n'ayant pas éprouvé de secousse, ils ne se doutèrent nullement de l'accident ;

3^o En cas de choc produit par un accident quelconque, les voitures ne quittent pas les rails, et surtout ne sont plus exposées à passer les unes sur les autres, comme cela

arrive en pareille circonstance aux voitures ordinaires ;

4° Les rayons des courbes formées par les rails peuvent être diminués, surtout si l'on fait usage de machines américaines. Sous ce rapport, nos voitures présentent un immense avantage ;

5° Au passage des changements de voie, les essieux ayant la faculté de se mouvoir dans le sens horizontal, n'éprouvent plus ce mouvement de torsion brusque et inévitable avec le système actuel et qui occasionne de fréquentes ruptures d'essieux ;

6° La suspension, vu le nombre des ressorts et leur disposition, est beaucoup plus douce et en même temps plus simple et par conséquent moins coûteuse ;

7° Avec le système de voitures à huit roues, on n'est pas exposé au déraillement qui peut être occasionné, comme nous l'avons dit plus haut, par la tension inégale des ressorts ;

8° L'extrême rapprochement des roues de chaque train permet d'employer des freins très-puissants, et cependant de la construction la plus simple et par conséquent la plus économique ;

9° Le poids de la diligence est reporté près des roues sur la fusée même, c'est-à-dire au point le plus résistant de l'essieu ;

10° Quant aux manœuvres qu'exige le service, le nouveau système de voitures ne présente aucune difficulté ; elles marchent également bien en avant et en arrière, et se réunissent les unes aux autres aussi promptement que les voitures ordinaires ; ainsi la formation des convois est tout aussi facile ;

11° On peut, sur un même nombre d'essieux, augmenter la quantité des voyageurs, et par conséquent diminuer le poids mort ou non productif, et par suite les frais de surveillance, d'éclairage, d'entretien, etc. Ainsi, par exemple, nos voitures à huit roues pèsent 4000 kilogram-

mes et contiennent quarante voyageurs, non compris les quatre personnes placées sur les deux sièges réservés sur l'impériale. Le poids par voyageur est donc de 100 kilogrammes. Sur les chemins anglais, il est de beaucoup supérieur, même pour les voitures de deuxième classe, dont les côtés ne sont fermés que sur une hauteur de 0^m.80 et dont l'intérieur n'est point garni de coussins. De plus, ces voitures ne portent pas de frein. Le tableau suivant indique le poids des diligences des principaux chemins de fer d'Angleterre.

NOMS DES CHEMINS.	CLASSE des voitures.	POIDS.	NOMBRE de voyageurs.	POIDS par voyageur.
		kil.		kil.
North-Union.	1 ^{re} classe.	3556	18	197.55
	2 ^e classe.	3048	24	127.00
Newcastle et Carlisle. .	1 ^{re} classe.	3606	18	200.33
	Mixte.	3200	22	145.45
	2 ^e classe.	2794	24	116.41
London et Birmingham.	1 ^{re} classe.	3861	18	214.50
	2 ^e classe.	2590	24	107.91
	Malles.	3657	10	365.70
	1 ^{re} classe.	3556	18	197.55
Grand-Junction.	2 ^e classe.	3048	24	127.00
	1 ^{re} classe.	3672	18	204.00
Manchester et Leeds. .	2 ^e classe.	2788	24	116.17

Ainsi, pour des voitures ouvertes de tous côtés, dépourvues de toute garniture à l'intérieur, le poids mort par voyageur est en Angleterre de 108 à 127 kilogrammes. Les nôtres, bien closes, et garnies de coussins, donnent à peine un poids mort de 100 kilogrammes par personne.

Explication des planches.

Planche 46.

Fig. 1. Élévation de l'une des locomotives américaines en activité sur le chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon. Ces machines ont été construites dans les ateliers de MM. Hick père et fils à Bolton, près Manchester, d'après celles en circulation sur le chemin de fer de Birmingham à Gloucester. Leur poids total, la chaudière étant pleine ainsi

que le foyer, est de 10 773 kilogrammes qui se répartissent ainsi : 6 217 kilogrammes sur les deux roues motrices et 4 556 kilogrammes sur les quatre petites roues. Les cylindres ont 0.292 de diamètre ; la course des pistons est de 0.508. Les roues motrices ont 1.219 de diamètre. Le nombre des tubes est de 96 ; leur longueur est de 2^m.437, et leur diamètre de 0.031. Les ouvertures pour l'introduction de la vapeur dans les cylindres ont 0.203 sur 0.022, et celles de sortie 0.203 sur 0.038. Les tiroirs ont 0.0095 d'ouverture à chaque extrémité et 0.0042 d'avance du côté où sort la vapeur. Le diamètre des tuyaux d'échappement est de 0^m.051.

D'après le procès-verbal dressé par M. Wood, ingénieur du chemin de fer de Liverpool à Manchester, ces locomotives ont produit les effets suivants lors de leur mise en activité.

Le poids du tender étant de	7 703 kil.
Celui des wagons à remorquer de	50 525

Soit en total.	58 228 kil.
------------------------	-------------

non compris le poids de la locomotive.

Cette machine, conduite au pied d'une rampe de 1 sur 96, est partie du repos et après une vitesse dont la moyenne était de 26 $\frac{1}{2}$ kilomètres par heure. La charge ayant été augmentée de 13 tonnes anglaises, soit 13 203 kilogrammes, la rampe a été franchie avec une vitesse de 10 milles 84 ou 17 445 mètres à l'heure. Enfin, conduite au plan incliné de Checkerbent dont la pente est de 1 sur 30, cette locomotive l'a franchie avec quatre wagons dont le poids était de 10 175 kilogrammes : la vitesse était de 11 milles à l'heure, soit 17^k.70.

Fig. 2. Élévation de la sonnerie d'alarme.

Fig. 3. Projection perpendiculaire à la précédente.

Dans ces figures, A représente le châssis inférieur de la diligence ; B l'impériale ; C la cloison de séparation entre la rotonde et l'intérieur ; D la pédale au moyen de laquelle le conducteur fait fonctionner la caisse à sable E placée sous la banquette du coupé et en même temps lever l'arrêt F ; le contre-poids G faisant alors mouvoir l'engrenage H, met en mouvement l'arbre I sur lequel sont placés des ressorts portant des marteaux K qui viennent alternativement frapper les timbres L. Ainsi d'un seul coup de pied le conducteur de la première voiture fait tomber du sable sur les rails, et au moyen de la sonnerie d'alarme, il prévient en même temps les conducteurs des autres diligences de la nécessité de fermer leurs freins.

Fig. 4. Coupe en long de la partie antérieure du châssis sur lequel reposent les voitures de première classe du chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon.

Fig. 5. Plan correspondant à la coupe représentée par la fig. 13.

Ces deux dessins sont destinés à indiquer le système employé pour décrocher la voiture de la locomotive.

A l'extrémité de la tige A du frein est placé un excentrique B au moyen duquel le conducteur de la diligence fait mouvoir autour du point fixe D, le levier coudé C dont l'extrémité E entre à la fois dans la

chaîne d'attache du remorqueur et dans la pièce de fer F, au moyen de laquelle a lieu la traction de la voiture.

Le ressort G sert à maintenir le levier contre l'excentrique, et à empêcher que le décrochage n'ait lieu de lui-même pendant la marche.

Planche 47.

Fig. 1. Élévation d'une locomotive à huit roues construite pour le chemin de Philadelphie à Postville, par MM. Eastwick et Harrison. Étant vide cette machine pèse 9 800 kilogrammes. En marche avec l'eau et le charbon son poids est de 11 250 kilogrammes dont 8 300 kilogrammes reposent sur les quatre roues motrices. Le diamètre des cylindres est de 0^m.82; la course de 0^m.407. Les quatre roues motrices couplées ont 1^m.06 et les quatre de l'avant-train 0^m.765 de diamètre.

Cette machine est destinée à brûler de l'anthracite; en conséquence on a agrandi le foyer dans le rapport de 1 à 1.50 et on a raccourci les tubes de la chaudière. De plus, on a placé latéralement une boîte renfermant une petite roue à palettes en métal; cette roue est mise en mouvement par la vapeur qui s'échappe, et en tournant elle jette de l'air dans le foyer: ce mécanisme n'est pas en évidence sur le dessin.

Si l'on parvient à faire intervenir l'adhérence de l'avant-train, comme on espère y parvenir, au moyen d'une chaîne sans fin agissant sur un tambour fixé à l'un des essieux et sur l'une des roues motrices, les roues de cet avant-train étant alors couplées, on ne doute pas de pouvoir augmenter le poids du convoi dans la proportion de l'adhérence obtenue, c'est-à-dire d'un tiers ou d'un quart en sus de ce qu'il est maintenant. Jusqu'à présent la théorie, d'après laquelle la puissance des locomotives à petite vitesse (10 à 13 kilomètres par heure) est exactement proportionnelle à l'adhérence et n'est limitée que par cette adhérence, se trouve complètement vérifiée par les faits.

D'après le journal de l'institut de Franklin cette machine a fait, sur le rail-way de Philadelphie à Postville, le 20 février 1840, le travail suivant :

Le train était composé de 101 waggons ayant chacun quatre roues de 0^m.915 de diamètre et de 1^m.372 de distance d'axe en axe; le poids de chacun varie de 2 400 kilogrammes à 2 650 kilogrammes.

Le poids du train y compris les waggons et la charge, mais non compris la machine et le tender, était de. 430 tonnes.

Poids net de la charge. 273

La charge consistait en farine, clous, whiskey, fer, huile, etc.

La distance de Reading au pied du plan incliné du railway de Columbia est de. 87 $\frac{1}{2}$ kilom.

La durée du voyage a été de. 5^h.33 min.

La vitesse était donc de. 15^k.80

Combustible dépensé (anthracite du Shuylkill) 2540 kilog.

Eau évaporée 1260

La différence de niveau de Reading au point où les convois s'arrêtent près du chemin de Columbia est de 65^m.50, ce qui donne une pente moyenne de 0.000745 par mètre.

Il n'y a pas de rampe ascendante de Reading au chemin de Colum.

bia, si ce n'est sur une distance de 640^m. au point le plus bas, avec une pente de 5 millimètres à l'endroit où le train s'arrête. Les autres pentes sont au-dessous de 3^{mm}.43 et on n'atteint ce maximum qu'une fois.

La longueur totale des parties horizontales de Reading au rail-way de Columbia est de 43 kilomètres et demi. Le plus long palier a 14 642 mètres entre Norristown et le plan incliné ; les autres varient de 470 à 8 000 mètres.

A cause de la gelée qui couvrait la terre à cette époque, l'état de la voie était pire que dans aucune autre saison, cependant la marche de la machine n'en fut pas altérée.

Pour les 32 premiers kilomètres l'état des rails était très-mauvais. La matinée avait été nébuleuse et le brouillard de la nuit précédente avait laissé sur les rails une humidité suffisante pour diminuer considérablement l'adhérence de la machine. Pour le reste de la distance le temps s'était éclairci et les rails étaient en fort bon état.

En trois occasions différentes la machine fit démarer tout le train sur un plan de niveau et le rail étant sec, sans glissement des roues.

La vapeur variait de 5^k.60 à 9 kilogrammes par centimètre carré.

A cette dernière pression les soupapes étaient chargées à leur maximum. Le tirage de la machine était produit par l'échappement de la vapeur à travers un tube placé dans la boîte à fumée. Ce moyen seul était employé pendant la marche ; aux stations on se servait du ventilateur breveté de Reilly lorsqu'on jetait du charbon neuf sur le foyer.

On détermina la vitesse lorsqu'on passa dans quelques courbes de 250 mètres de rayon, sur le palier horizontal de 14^k.40 de longueur, et on la trouva égale à 15^k.70 par heure.

Sur une ligne droite du même palier la machine atteignit la vitesse de 16^k.80. La longueur du train était de 366 mètres ; son influence se faisait vivement sentir dans quelques parties découvertes de la route, et la marche de la machine devait en être affectée (voir le *Traité des machines à vapeur aux États-Unis d'Amérique*, traduit de l'anglais par MM. Flachet et Duval).

Fig. 2. Élévation du coussinet et du rail employé sur Great-North-railway.

Fig. 3. Plan du coussinet.

Fig. 4. Coupe d'*idem*, suivant la ligne AB.

Fig. 5. Élévation du rail et du coussinet adopté pour le chemin de fer de Blackwall par Stephenson.

Fig. 6. Plan de la surface de roulage à la jonction des rails du chemin du Blackwall.

Fig. 7. Coupe du coussinet et du rail du chemin de fer de Manchester à Leeds.

Fig. 8. Élévation du coussinet adopté dernièrement pour le chemin de fer de Darlington.

Fig. 9. Moitié du plan du même coussinet.

Fig. 10. Coupe en travers du rail du chemin de fer de Great-Western.

Fig. 11. Coupe en travers du rail du chemin de fer de Londres à Croydon.

Fig. 12. Plans et coupes indiquant la portion de fer enlevée par l'oxydation sur des chevilles employées au maintien des coussinets du chemin de Liverpool à Manchester.

Fig. 13. Système d'arrêt en usage sur le rail-way de Saint-Étienne pour empêcher le dernier waggon de chaque convoi de descendre lors de la remonte du plan incliné entre Rive-de-Gier et Saint-Étienne.

Lyon, le 25 juillet 1842.

N° 76.

De la construction des routes en empierrement ;

Par M. DUMAS, Ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Maximum de beauté.

• Les routes en empierrement constituent , en France , la presque totalité des voies de terre. Les routes pavées n'existent que dans un petit nombre de localités et par exception ; elles tendent de plus en plus à disparaître , parce que la construction en est très-dispendieuse, le parcours très-fatigant , et parce qu'elles se prêtent moins bien aux grandes vitesses qui sont un besoin général de notre époque.

Les pavés pouvaient être préférables lorsque les empierrements étaient couverts de boue et sillonnés d'ornières ; ils pouvaient être , dans certains cas , plus économiques , lorsqu'on donnait à ces derniers 0^m.40 à 0^m.50 d'épaisseur ; ils pouvaient offrir un tirage avantageux , lorsque la vitesse des voitures ne dépassait guère deux lieues à l'heure. Mais tout cela est bien changé aujourd'hui avec le nouveau système d'entretien qui fait disparaître jusqu'aux moindres frayés , et par conséquent les chocs et les cahots ; ce sont , au contraire , les chaussées empierrées qui présentent le parcours le plus agréable et le moins fatigant ; le tirage n'y augmentant pas avec la vitesse comme sur les chaussées pavées , elles offrent surtout un avantage marqué aux voitures rapides dont l'importance devient plus grande de jour en jour ; enfin du moment que leur épaisseur est réduite à moins de 0^m.20, aucun autre système ne saurait lutter avec elles sous le rapport de l'économie. Il n'est donc pas étonnant qu'elles

obtiennent presque partout aujourd'hui, une préférence à peu près exclusive.

Les chaussées pavées ne paraissent indispensables que dans l'intérieur des villes, où la boue et la poussière, même en faible quantité, ne seraient pas sans inconvénients, et où le travail de l'entretien pourrait causer de grands embarras et donner lieu à des accidents. Mais la longueur de ces traverses n'est encore qu'une bien petite partie de la longueur totale des anciennes routes, et surtout des nouvelles voies de communication qui se créent tous les jours. En définitive les routes empierrées sont incomparablement les plus nombreuses et celles qui intéressent au plus haut degré la prospérité du pays. On comprend donc combien il est important de connaître et de pouvoir mettre en pratique le meilleur système de construction et d'entretien de ces routes. Dans un précédent écrit nous avons cherché à poser les principes d'un entretien rationnel. Nous nous proposons ici de faire un travail semblable en ce qui regarde la construction.

Remarquons bien d'abord que les routes devant satisfaire à certaines conditions imposées par le roulage qui les fréquente et par le terrain sur lequel elles sont établies, l'accomplissement bien entendu de ces conditions doit se manifester par la beauté qu'accompagne presque toujours l'économie. Et comment en pourrait-il être autrement ? Comment le beau pourrait-il être l'enseigne du mauvais ? Comment l'économie serait-elle la conséquence du laid qui suppose désordre et déperdition de forces ? La beauté est et ne peut être que la manifestation extérieure du bon et de l'utile, et elle suppose nécessairement l'ordre et la simplicité de moyens qui constituent l'économie. Ces idées, dont on sera à même de vérifier à chaque instant la justesse, vont nous servir de guide dans les recherches auxquelles nous allons nous livrer.

La construction d'une route comprend deux opérations

principales que nous examinerons successivement : 1^o le tracé, 2^o la construction proprement dite.

1^o TRACÉ.

Le tracé des routes doit être approprié : 1^o à la nature et à l'importance de leur fréquentation, 2^o aux exigences du sol et à l'intérêt des localités.

Les routes sont fréquentées par les piétons, les gens à cheval et les voitures. Mais ce dernier mode de transport est aujourd'hui, de beaucoup, le plus général, et même à peu près exclusif des deux autres, pour toutes les grandes distances. Il faut remarquer en outre que le roulage tend à augmenter de plus en plus ses chargements et que les voitures destinées au transport des voyageurs tendent à augmenter de plus en plus leur vitesse. Le tracé des routes doit donc être conçu principalement en vue de la circulation des voitures, et de voitures lourdement chargées et marchant avec une grande rapidité. Il exige par conséquent des courbes développées et surtout des pentes très-faibles. Nous ne nous arrêterons pas à la première de ces conditions, parce qu'elle est presque toujours facile à remplir ; mais la seconde réclame toute notre attention.

Sur des routes d'empierrement en parfait état, le tirage atteint à peine les deux centièmes du poids, c'est-à-dire que pour une pente de 2 centimètres par mètre, la pesanteur fait équilibre au frottement, en sorte qu'il n'est pas besoin d'enrayer, et que, pour une rampe de 2 centimètres par mètre l'effort de traction est double de celui qui a lieu en plaine. Dès lors, l'inclinaison de 2 centimètres est celle qu'il semble naturel d'adopter comme limite. Cette limite est analogue à celle de 4 à 5 millimètres admise pour les chemins de fer et qui correspond à l'intensité du frottement sur des rails horizontaux. Une telle inclinaison est doublement avantageuse en ce qu'elle n'impose qu'une faible gêne au roulage, en même temps

qu'elle lui offre une entière sécurité. Bien évidemment tout danger doit disparaître à la descente puisqu'il n'est besoin que du plus petit effort pour retenir la voiture, et à la montée le ralentissement ne saurait être bien sensible, attendu que les chevaux n'ont aucune peine à déployer momentanément une force double de celle qu'ils dépendent d'habitude. On les voit, en effet, gravir assez facilement au trot des rampes de plus de 3 centimètres et sur des routes en médiocre état. Enfin, on ne doit pas perdre de vue les locomotives qui circuleront prochainement sur les routes ordinaires et auxquelles il faut ménager les mêmes conditions qu'à celles des chemins de fer. Nous poserons donc généralement comme limite l'inclinaison de 2 centimètres par mètre, sauf, bien entendu, les circonstances exceptionnelles.

Mais il ne suffit pas au roulage de n'être plus arrêté par des pentes trop roides ; il faut encore que le nivellement de la route soit établi de telle manière que les transports s'exécutent dans leur ensemble avec la moindre dépense possible de force. Il importe donc qu'entre deux points obligés les pentes se succèdent dans le même sens, et qu'on ne monte pas sans motifs pour redescendre ensuite et réciproquement. Toutefois, nous devons faire observer que l'inconvénient diminue avec l'inclinaison et l'étendue des pentes. Lorsqu'elles sont très-faibles, la descente restitue à peu près au tirage ce que la montée lui avait fait perdre, et comme d'un autre côté il y a avantage à ne pas mettre en jeu trop longtemps les mêmes muscles des animaux employés à la traction, on comprend qu'au dessous de 0^m.01 par mètre une succession de pentes et de contre-pentes n'impose guère plus d'efforts au roulage qu'un tracé entièrement horizontal. On peut donc tolérer sans inconvénient cette succession de petites pentes et contre-pentes qui sont d'ailleurs favorables à l'écoulement des eaux et à l'assainissement de la route.

Telles sont les conditions auxquelles doit satisfaire le tracé dans l'intérêt de la circulation. Examinons maintenant celles qui résultent de la configuration du sol et des besoins des localités.

La nature semble nous indiquer, par le mouvement des eaux, les lignes générales suivant lesquelles doit s'exécuter la locomotion. Les routes sont destinées à desservir les vallées que les cours d'eau fertilisent ; il est donc tout simple qu'elles marchent dans le même sens et les suivent à peu de distance. Le passage d'une vallée à une autre n'est que la soudure de deux tracés ; c'est un cas exceptionnel dont nous ne nous occuperons pas. Nous ne voulons nous attacher qu'au cas le plus général, c'est-à-dire au tracé dans les vallées.

Lorsqu'il s'agit de mettre en communication deux points situés dans une même vallée, on peut suivre, ou à peu près, les mouvements du cours d'eau qui en forme le thalweg, ou bien, pour abréger le parcours, se diriger autant que possible en ligne droite, en coupant les contreforts de toutes les vallées secondaires. Ce dernier système, qui est celui dans lequel ont été exécutées presque toutes les anciennes routes de France, ne présente que des difficultés et des inconvénients de toute sorte. Le tracé court alors par monts et par vaux, sans tenir aucun compte ni des obstacles naturels du sol, ni de l'intérêt des localités, et comme il attaque toujours de front ces obstacles, il exige presque toujours aussi des travaux énormes pour n'aboutir en définitive qu'au nivellement le plus défectueux. Il est même bien loin d'atteindre le but dont il se préoccupe exclusivement, le plus court trajet entre les points extrêmes, attendu que les retards provenant de pentes roides et multipliées allongent en réalité le parcours bien autrement que ne pourraient le faire toutes les sinuosités qu'il cherche à éviter.

Le tracé dans la partie inférieure des vallées se déve-

loppe, au contraire, sans rencontrer le moindre obstacle ; sa pente est faible et continue, c'est à peu près celle du cours d'eau dont il suit les mouvements. Là, point de montées inutiles, point de travaux extraordinaires. Bien plus, c'est là que se rencontrent les bons terrains, les fermes, les usines, les populations agglomérées que les routes ont pour objet de desservir. Le tracé qui serpente le long des vallées est donc le plus utile au pays, en même temps qu'il se prête le mieux aux exigences du sol.

Pour se convaincre du peu d'avantage réel d'un tracé en ligne droite sur un terrain tant soit peu accidenté, même en ce qui regarde l'abréviation du parcours, il suffit de remarquer que le tracé le plus sinueux n'allongerait pas, en général, le trajet d'un cinquième ou d'un sixième, pendant qu'une rampe de 0^m.04 à 0^m.05 exige une force de traction trois fois plus grande qu'en plaine pour être franchie dans le même temps, ou un temps trois fois plus long pour être franchie avec la même force de traction, et cependant une rampe de 0^m.04 à 0^m.05 est réputée modérée, et les anciennes routes en présentent habituellement de 0^m.06 à 0^m.07 et souvent de 0^m.08 à 0^m.09 et 0^m.10 et au delà. Il n'y a donc aucune comparaison à faire entre le temps qu'exige un tracé un peu plus long, et celui qu'exige un nivellement défectueux. Or, évidemment c'est le temps qui est important et qui mesure seul la rapidité du trajet. La moindre longueur sur la carte n'est qu'une abstraction sans aucune utilité pratique.

Nous allons faire voir maintenant que le tracé le plus avantageux pour le roulage, le mieux approprié au sol, le plus utile pour le pays, est en même temps celui qui satisfait de la manière la plus parfaite à la double condition de beauté et d'économie.

Quoi de plus triste, en effet, et de plus monotone ! quoi de plus laid qu'une route en ligne droite, s'éloignant

de tous les centres de population, traversant à la hâte des vallées qui se présentent aux voyageurs comme des précipices, et se maintenant sur des plateaux arides où l'on ne rencontre ni végétation ni habitants? Au contraire, quoi de plus gai, de plus pittoresque, quoi de plus beau qu'une route serpentant à mi-côte sur le versant d'une vallée; à la limite naturelle des terres les plus fertiles et des plus riches plantations, rencontrant à chaque pas des villages, des usines, des fabriques, des maisons de campagne, ombragée, abritée des vents et constamment animée par l'aspect d'un riant cours d'eau?

L'économie d'un tracé rationnel n'est pas moins incontestable que sa beauté. Il arrive assez souvent de rencontrer sur les anciennes routes en ligne droite, des remblais et des déblais de 10 à 12 mètres de hauteur, et cela pour obtenir des pentes de 0^m.06 à 0^m.07 par mètre. Dans ce cas le cube des terrassements est dix à vingt fois plus considérable que dans les circonstances ordinaires. Mais là ne se borne pas l'augmentation de la dépense. Sous des remblais de 12 mètres de hauteur, le moindre pontceau devient un travail d'art d'une grande importance, car il ne s'agit pas moins que d'une longueur de 40 à 50 mètres, et en outre on est obligé de s'imposer des conditions de solidité dispendieuses, en vue des embarras qu'entraînerait un accident et de l'extrême difficulté qu'il y aurait à le réparer. Enfin ces grands talus en déblais et en remblais sont exposés à des éboulements continuels. Les déblais donnent lieu à des infiltrations qui minent la chaussée; les remblais sont ravinés par les moindres pluies; c'est un travail incessant de réparation et d'entretien. Le tracé à mi-côte, au contraire, s'appliquant exactement sur le sol, constitue ce qu'on appelle la ligne de moindre déblai, qui n'est autre chose évidemment que la ligne de moindre dépense; et comme les terrassements ont d'autant plus de stabilité qu'ils sont moins considérables, on voit

que l'économie de l'entretien est une suite naturelle de celle de la construction.

Mais la dépense dont ces mauvais tracés grèvent le trésor est encore bien peu de chose en comparaison de la gêne et des pertes énormes qu'ils imposent au roulage et au pays. En premier lieu, ces bouleversements du sol dérangent toutes les habitudes locales, interceptent les communications, rendent les propriétés inabordables, détournent le cours naturel des eaux, etc., etc.; c'est un dommage considérable causé à l'agriculture. Quant à la perte éprouvée par le roulage, voilà qui pourra en donner une idée. Sur les 9 000 lieues environ de routes royales qui existent en France, on peut admettre qu'un tiers au moins présente des pentes au-dessus de $0^m.04$ par mètre, ou, si l'on veut, des pentes d'une inclinaison moyenne de $0^m.05$ à $0^m.06$; mais comme il y a moitié pentes et moitié rampes, il ne faut compter comme obstacle que le sixième de la longueur totale. Or, sur de telles pentes, l'effort de traction se trouve doublé par rapport au parcours ordinaire; la dépense imposée au roulage par leur surélévation est donc le tiers de la somme totale à laquelle s'élèvent les frais de traction sur les routes royales, c'est-à-dire de près de 100 millions. Qu'on juge après cela de l'immense intérêt qu'il y aurait à les faire disparaître : 3 000 lieues à 60 ou 70 000 francs la lieue, ne coûteraient pas plus de 200 millions, et 200 millions ainsi dépensés par le trésor procureraient au roulage une économie annuelle de 100 millions, sans compter tous les bénéfices indirects qu'en retireraient l'administration et le public. Il existe assurément pour le trésor peu de placements aussi avantageux que celui-là.

Il est aisé de s'assurer du reste que l'inclinaison de $0^m.02$, pour laquelle la pesanteur fait équilibre au frottement sur des routes à l'état normal, est bien la limite imposée par la nature des choses elle-même. Examinons,

en effet, ce qui se passe lorsque l'inclinaison est plus forte. A la descente, les voitures sont obligées d'enrayer; elles peuvent le faire de deux façons : en se plaçant sur l'accotement, ou bien en restant sur la chaussée et en serrant les freins; dans le premier cas, les accotements sont sillonnés d'ornières; dans le second cas, la chaussée se trouve soumise à un frottement de première espèce qui augmente considérablement la désagrégation et l'usure; dans les deux cas, des accidents sont à craindre. A la montée, les pieds des chevaux entament avec force la chaussée dans laquelle ils cherchent un point d'appui, et dans les haltes forcées, pour laisser souffler l'attelage, comme la voiture serait entraînée par la pesanteur, les rouliers sont obligés de placer sous les roues des pierres qu'ils négligent presque toujours d'enlever et qui peuvent donner lieu à de graves accidents. Tous ces inconvénients, tous ces dangers, sont un utile avertissement donné par des intérêts que nous n'avons pas su satisfaire. C'est le roulage qui réclame et qui nous dit à sa façon : « Vos pentes sont trop fortes et me gênent, je ne cesserai de vous importuner tant que vous ne m'en donnerez pas de plus douces; donnez-moi des pentes de 0^m.02, et alors seulement je vous laisserai en repos. » Il est évident que le roulage a raison, et que nous aurions tort de ne pas faire droit à sa requête.

Nous ne nous arrêterons pas davantage à cette question de tracé, d'autant qu'elle n'a précisément rien de particulier aux chaussées d'empierrement. Notre intention n'a pas été de faire un traité sur cette matière. Nous avons tenu seulement à montrer que le tracé le plus avantageux pour le roulage était en même temps le mieux adapté aux exigences du sol, le plus utile au pays, et aussi celui qui satisfaisait le mieux à la double condition de beauté et d'économie. Il nous a semblé utile d'établir qu'ici, comme en toute chose, toutes les perfections marchent d'accord,

et que tous les avantages découlent naturellement les uns des autres à la suite d'un principe rationnel. Nous croyons cette idée satisfaisante pour l'esprit et de nature à exercer une heureuse influence, en lui fournissant un guide précieux dans un grand nombre de cas.

2° CONSTRUCTION.

On peut distinguer deux sortes d'ouvrages dans la construction des routes : 1° les terrassements et les travaux d'art nécessaires à l'établissement de la voie ; 2° les ouvrages qui composent la voie proprement dite et se trouvent en contact immédiat avec la circulation. Nous n'avons à nous occuper que de ces derniers, les autres s'appliquant aussi bien à toute espèce de routes, et n'ayant rien de particulier à celles qui font l'objet de cet écrit.

Quant aux ouvrages immédiatement en contact avec la circulation, ils se résument pour ainsi dire dans la chaussée qui, ayant à supporter l'action directe du roulage, est évidemment la partie principale d'une route et celle qui la constitue essentiellement. Tout le reste, comme rigoles pavées, parapets, banquettes, etc., ne peut être considéré que comme fort accessoire. C'est donc pour la chaussée, et l'on pourrait dire pour elle seule, qu'il importe d'étudier avec soin et de formuler nettement un mode de construction rationnel. Tel est aussi le but principal de notre travail. Nous ne parlerons des ouvrages accessoires que d'une manière très-succincte et en tant qu'ils peuvent intéresser la conservation et le bon état de la chaussée, ou la sécurité de la circulation.

Chaussée en empierrement. — L'idée de chaussée empierrée suppose nécessairement une couche de petites pierres ou cailloutis sur laquelle s'opère le roulage ; mais le corps de la chaussée peut donner lieu à divers systèmes de construction.

Jusqu'à ces derniers temps, une chaussée empierrée se

composait de trois couches; la première de larges pierres posées à plat, la deuxième de pierres posées de champ, ces deux couches formant ce qu'on appelle la fondation; et enfin la troisième de petites pierres ou cailloutis variant de la grosseur d'un œuf à celle d'une noix. Ces trois couches présentaient une épaisseur totale de 0^m.40 à 50 encadrée dans deux rangées de bordures, c'est-à-dire de pierres de forme régulière et d'une forte dimension.

Le système de Mac-Adam, à peu près généralement adopté aujourd'hui, consiste à supprimer toute espèce de fondation et à remplacer les trois couches de l'ancien système par une seule couche de petites pierres de 0^m.25 d'épaisseur.

Depuis peu de temps quelques ingénieurs anglais reviennent au système de fondation; seulement, au lieu des deux couches dont nous avons parlé, ils établissent une espèce de pavage grossier, mais bien serré, sur lequel on étend la couche de cailloutis.

Pour apprécier le mérite et l'efficacité de ces divers systèmes de construction, il faut se reporter à ce qui se passe sur une chaussée qui vient d'être livrée au public et tenir compte du mode d'entretien qui y est en usage. Si l'on n'a rien fait pour l'affermissement de la couche de cailloutis, si cette couche composée de matériaux mobiles est abandonnée ainsi à elle-même, les roues des voitures y formeront aisément des frayées et bientôt des ornières de plus en plus profondes. Dans ce cas l'avantage d'une fondation n'est pas douteux, car en son absence les roues pourraient arriver jusqu'au terrain naturel et alors, dans des moments de pluie ou de dégel, la chaussée courrait le risque d'être entièrement bouleversée. Mais si la couche de cailloutis est soumise à un travail de consolidation tel qu'elle présente une masse liée et compacte, abritant le sol et l'isolant des influences atmosphériques; si de plus on s'impose l'obligation de maintenir la surface constamment unie

et saine , en enlevant les détritns à mesure qu'ils y apparaissent et en effaçant les moindres traces qui viennent à s'y former , alors il est bien évident que l'existence d'une fondation devient tout à fait indifférente , puisque l'action des roues , limitée à la surface , ne peut jamais se faire sentir au delà de quelques centimètres de profondeur. Or, l'emploi de ces moyens de consolidation , et surtout les soins continus d'un entretien régulier , sont , dans tous les cas , indispensables pour peu qu'on tienne au bon état des routes , car ce n'est qu'à ce prix qu'il est possible de les avoir constamment belles. Dans le système du maximum de beauté des routes , la fondation ne présente donc aucune espèce d'utilité et peut être supprimée sans inconvénient. On doit ajouter , en outre , que cette suppression est toujours avantageuse sous le rapport de l'économie , l'augmentation provenant du passage se trouvant compensée , et bien au delà , par une diminution de plus de moitié dans le cube des matériaux.

Nous admettrons toutefois qu'il existe telles circonstances locales où l'établissement d'une fondation pourrait présenter plus de garanties ; mais ce sont là des circonstances exceptionnelles. Nous ajouterons seulement que dans ce cas le meilleur système de fondation nous paraît être le pavage grossier ; c'est-à-dire le système qui exige moins de matériaux et qui les emploie avec plus d'art et de soin.

Quant aux bordures qui formaient l'encadrement obligé des anciennes chaussées , elles n'occasionnent pas seulement une dépense inutile , elles sont encore fort nuisibles. En effet , elles établissent entre la chaussée et les accotements une séparation tranchée qui rend la circulation difficile dans le sens transversal , et le long de laquelle se forme toujours une ornière où se trouvent forcément entraînées les voitures et qui tend par conséquent à s'approfondir de plus en plus. Pour qu'une route se maintienne unie , pour qu'elle n'ait aucune tendance à se rouager , il

faut que les voitures puissent circuler librement dans tous les sens, sans rencontrer d'obstacle, ni même de résistance inégale. Bien loin, par conséquent, de marquer par une construction solide la limite de la chaussée et des accotements, on doit, au contraire, mettre tous ses soins à l'effacer et à rendre la transition insensible.

Au reste, il est aisé de s'assurer que la suppression de la fondation, celle des bordures et les soins donnés à la beauté des routes, constituent un perfectionnement véritable conforme à la marche naturelle du progrès. Si l'on mesurait anciennement la solidité d'une route au cube et à la dimension des matériaux dont elle était formée, c'était la suite nécessaire des idées de l'époque s'appuyant, en toutes choses, sur la force matérielle. Aujourd'hui, l'on commence à comprendre que le meilleur moyen de triompher d'une force, consiste bien moins à la combattre avec énergie qu'à la rendre impuissante en ne lui donnant aucune prise. Or, en ce qui touche les routes, la beauté et l'uni de leur surface font l'effet d'un véritable talisman devant lequel s'arrête, d'elle-même, la force destructive du roulage. Les belles routes sont donc en réalité les plus solides, le roulage devenant aussi inoffensif et comme respectueux à leur égard, qu'il continue à se montrer redoutable pour les mauvaises, ou si l'on veut pour les laides. On reconnaît ici, sans peine, l'éternelle allégorie de la Force désarmée par la Beauté, allégorie qui, pour paraître aujourd'hui quelque peu surannée, n'en est pas moins aussi juste qu'ingénieuse.

En résumé, une chaussée d'empierrement doit se composer d'une couche uniforme de petits matériaux sans fondation et sans bordures, réalisant autant que possible le plus haut degré de beauté. Nous allons entrer maintenant dans les détails de construction, et nous aurons à examiner successivement : 1° les dimensions à donner à la chaussée; 2° sa composition; 3° les moyens de consolida-

tion à employer pour la rendre immédiatement praticable au roulage.

Dimensions à donner à la chaussée. — Largeur. — La chaussée peut occuper tout ou partie de la largeur d'une route. Abstraction faite de la dépense, la première disposition ne saurait avoir que des avantages. Il importe, en effet, que les voitures puissent circuler librement sur toute l'étendue de la voie, non moins pour la commodité et la sécurité du public que dans l'intérêt de la route elle-même, afin que l'usure ait lieu d'une manière uniforme et soit dès lors aussi faible que possible.

La largeur des anciennes routes, en France, était excessive. Elle allait assez souvent jusqu'à 24 mètres entre fossés, même pour des lignes d'une importance secondaire. La largeur de la chaussée variait de 5 à 6 mètres. En Angleterre les routes, beaucoup plus étroites, sont empierrées sur toute leur surface.

Les routes françaises ont aujourd'hui de 8 à 14 mètres de largeur entre fossés, savoir : 14 mètres pour les routes de première classe, 12 mètres pour celles de deuxième classe, 10 mètres pour celles de troisième classe, 8 à 10 mètres pour les routes départementales et 8 mètres pour les chemins de grande communication. Ces dimensions paraissent très-convenables, pourvu qu'on ne les regarde pas comme obligatoires sur toute l'étendue d'une même route et qu'on les réduise sans scrupule dans les parties moins importantes et moins fréquentées. Il y aurait, en effet, de la déraison à donner, comme on le faisait anciennement, la même largeur au milieu d'une lande déserte et aux abords d'une grande ville, par cela seul qu'il s'agirait de lignes classées sous la même dénomination. D'un autre côté, il faut se méfier de la réaction qui a eu lieu en France, dans ces derniers temps, contre les grandes largeurs, réaction provoquée par la comparaison des routes anglaises généralement très-belles et en même temps très

étroites. Mais les routes anglaises sont très-belles, bien moins à cause de leur peu de largeur que parce qu'elles sont parfaitement entretenues. D'ailleurs ce n'est pas systématiquement qu'on leur a donné d'aussi faibles dimensions ; elles se sont établies ainsi en suivant d'anciens chemins qu'il eût été difficile d'élargir sans rencontrer des oppositions puissantes et que n'auraient pu vaincre les autorités locales chargées de ces travaux. Mais aujourd'hui les Anglais eux-mêmes agissent tout autrement lorsqu'ils tracent de nouvelles routes ou lorsqu'ils rectifient les anciennes, et ne se font pas faute de leur donner des dimensions en rapport avec leur importance. Nous croyons donc, comme nous l'avons déjà dit, que la largeur adoptée aujourd'hui en France pour les diverses classes de routes est parfaitement convenable.

Quant à la largeur de la chaussée, elle doit être au moins assez grande pour que deux voitures puissent s'y croiser aisément ; 4 mètres doivent donc être regardés comme un minimum. Au-dessous de 4 mètres non-seulement la rencontre de deux voitures forcerait l'une d'elles à mettre une roue sur l'accotement, ce qui est souvent une grande gêne, mais la chaussée n'ayant qu'une voie, les roues seraient obligées de se placer constamment sur les mêmes traces, ce qui provoquerait la formation rapide des ornières et augmenterait considérablement les difficultés de l'entretien. Enfin, on sait que sur une largeur de 7 mètres, trois voitures se croisent avec la plus grande facilité. Il suit de là que la largeur des chaussées peut varier, suivant leur fréquentation, de 4 à 7 mètres, c'est-à-dire qu'elle peut être moitié de celle adoptée aujourd'hui pour les routes. Toutefois, aux abords des villes, où la circulation est plus active et où les exigences de la propreté sont plus impérieuses, il importe que l'empierrement s'étende à toute la largeur de la voie.

Épaisseur. — Une chaussée d'empierrement, pour être

solide, n'a pas besoin d'une grande épaisseur. La condition essentielle qu'elle ait à remplir, c'est de former une masse compacte et imperméable, abritant complètement le sol contre l'humidité, car on sait très-bien que le simple terrain naturel, lorsqu'il est à l'état de sécheresse, résiste suffisamment aux plus lourdes charges.

La moindre épaisseur qu'on puisse donner à une chaussée, dépend de la dimension des matériaux dont elle se compose. Il est bien évident, par exemple, qu'avec des matériaux de 0^m.10 de diamètre elle ne saurait être réduite à 0^m.10, parce que ces matériaux se trouvant alors simplement juxtaposés et se présentant isolément à l'action des roues pourraient être écrasés ou enfoncés dans le sol. Mais on conçoit très-bien que des matériaux de 0^m.05 à 0^m.06 de diamètre, entremêlés d'autres plus petits, puissent s'enchevêtrer les uns dans les autres de manière à former une masse solidaire n'ayant pas plus de 0^m.10 d'épaisseur. C'est, au reste, ce qui a été constaté un grand nombre de fois par l'expérience, juge en dernier ressort dans de semblables matières. Nous pourrions citer plusieurs exemples; nous nous bornerons au plus concluant.

En 1840, l'adoucissement d'une pente comprise entre le rond-point des Champs-Élysées et l'arc de triomphe de l'Étoile, exigea la construction d'un remblai, et, par suite, d'un empierrement neuf sur les bas-côtés de cette partie de l'avenue de Neuilly. Aussitôt que le remblai fut terminé, on le recouvrit d'une couche de cailloux de 0^m.10 d'épaisseur seulement, avec addition d'environ 0^m.02 de détrit. Ces cailloux appartenaient à la classe du silex pyromaque réputé d'une assez mauvaise qualité; ils étaient ramassés et non cassés. Au bout de quinze jours leur liaison était parfaite, et depuis lors cet empierrement s'est toujours maintenu en excellent état. Or, on sait qu'il existe bien peu de routes dont la fréquentation puisse être comparée à celle de l'avenue de Neuilly.

Cette résistance de chaussées aussi minces , au moment même où elles sont à peine affermies , tient à ce que la pression que les roues exercent à la surface , se transmet latéralement de proche en proche , de manière à se répartir à la partie inférieure sur une base très-étendue. Il se forme ainsi une pyramide de matériaux solidaires et qui ne peuvent céder qu'en s'enfonçant tout d'une pièce dans le sol , ce qui est à peu près impossible. Lorsque la chaussée est entièrement liée et ne forme plus , pour ainsi dire , qu'une seule pierre , sa résistance à l'enfoncement n'a pas besoin d'être expliquée.

On peut se demander maintenant si , dans l'épaisseur à donner à la chaussée , il n'y a pas lieu de tenir compte de la nature des matériaux , de celle du sol , et de l'importance de la fréquentation.

Sans doute les matériaux de qualité médiocre s'usent plus vite que les bons , et , comme ils sont d'ailleurs ordinairement à meilleur marché , il n'y a pas en général beaucoup d'inconvénient à se donner , dans ce cas , un peu plus de garantie en augmentant l'épaisseur. Toutefois , si l'entretien est fait convenablement , si l'on a soin de maintenir la surface toujours unie , et de remplacer l'usure en temps opportun , on ne voit pas que la chaussée puisse courir aucun danger ; elle s'use un peu plus vite , il faut faire les emplois de matériaux à des époques plus rapprochées , ou les faire plus abondants , voilà tout.

Il en est de la nature du terrain comme de celle des matériaux ; elle importe peu dans un bon système d'entretien et en supposant que la chaussée ait été établie de manière à présenter une espèce de couverture imperméable. Du moment que le sol se trouve soustrait à l'action des roues et aux influences atmosphériques , sa bonne ou mauvaise qualité devient tout à fait indifférente. Sans doute on aurait beaucoup plus à craindre avec un mauvais terrain , si on laissait la chaussée se rouager et les ornières

atteindre une certaine profondeur; mais une route bien entretenue ne se rouage pas, et sa surface doit être toujours parfaitement unie, non-seulement sans ornières, mais sans la moindre apparence des plus légers frayés.

Enfin, une très-grande fréquentation use plus vite la chaussée qu'une fréquentation médiocre, mais ne la dégrade pas davantage dans un bon système d'entretien. Une fréquentation plus considérable produit le même effet que des matériaux de qualité inférieure; il y a plus d'usure dans un temps donné; mais, en remplaçant l'usure d'une manière continue, la chaussée ne se trouvera jamais réduite à une épaisseur qui puisse donner des inquiétudes. Au reste, l'exemple cité plus haut de l'avenue des Champs-Élysées peut rassurer complètement à cet égard.

En résumé, la qualité inférieure des matériaux, la mauvaise nature du sol et l'importance de la fréquentation n'exigent pas impérieusement qu'on augmente l'épaisseur de la chaussée, si l'entretien est fait de telle sorte que l'usure soit remplacée d'une manière continue et que la surface reste constamment unie et saine. Or, on sait très-bien qu'il existe un système d'entretien remplissant ces conditions; il ne s'agit que de l'appliquer.

Ainsi donc, avec un entretien convenablement fait, une épaisseur de 0^m.10 peut être regardée comme suffisante, à la rigueur, en toute circonstance. Toutefois, c'est là une limite à laquelle nous ne recommanderons pas de se réduire dans tous les cas, sans aucun égard aux conditions plus ou moins défavorables dans lesquelles on agit. Il peut être prudent de porter souvent cette épaisseur à 0^m.15, peut-être même un peu au delà, dans quelques cas exceptionnels; mais nous croyons que tout ce qui dépasserait 0^m.20 doit être regardé comme complètement inutile.

L'extrême limite du système des chaussées minces consisterait à n'étendre sur le sol aucune couche régé-

lière et à constituer graduellement la chaussée par des emplois partiels et par un travail analogue à celui de l'entretien. Ce mode, au moyen duquel on obtient très-vite et à peu de frais une viabilité suffisante, réussit parfaitement sur des terrains de bonne qualité et lorsque la fréquentation est faible. Toutefois, il suppose un personnel nombreux de cantonniers intelligents et exercés. C'est là ce qui fait la difficulté principale de son application.

Bombement. — On donnait aux anciennes chaussées un bombement excessif, présentant une inclinaison de 0^m.07 à 0^m.08, et quelquefois 0^m.10 par mètre. En agissant ainsi, on avait principalement en vue de faciliter l'écoulement des eaux, et de se procurer par là plus de garantie pour la conservation de la chaussée. Mais en premier lieu, c'est l'uni de la surface, c'est-à-dire la beauté de la route, qui assure l'écoulement des eaux bien plutôt qu'un bombement exagéré. L'eau renfermée dans une ornière ne peut guère s'en échapper, quel que soit le bombement, pendant qu'elle s'écoulerait sans peine sur une surface unie, quoique très-faiblement inclinée. L'important est donc d'éviter la formation des ornières, et les bombements exagérés vont précisément contre le but qu'on se propose, car ils forcent les voitures de se placer constamment sur les mêmes traces pour se tenir en équilibre, ce qui provoque d'abord des frayés et bientôt des ornières de plus en plus profondes.

En second lieu, la considération de l'écoulement des eaux et de la conservation de la chaussée est loin d'être, à beaucoup près, la plus importante de celles dont on ait à tenir compte. Il faut songer avant tout à la commodité du roulage et à la sécurité du public pour qui les routes sont faites. Or, par suite de l'augmentation toujours croissante de la vitesse des voitures, une route trop bombée est non-seulement très-incommode, mais encore très-dangereuse pour la circulation. Les anciens bombements

doivent donc être proscrits, et les nouveaux réduits à la moindre inclinaison possible.

Le bombement qui nous paraît le plus convenable est celui correspondant à une inclinaison de $0^m.03$ par mètre. Quoique faible, il est encore beaucoup plus que suffisant pour l'écoulement des eaux sur une route parfaitement entretenue, et il permet aux voitures de circuler sans le moindre embarras sur toute l'étendue de la chaussée, ce qui a pour effet de rendre l'usure uniforme et de prévenir la formation des frayés et des ornières. Ce bombement est à peu près celui indiqué par Mac-Adam et en usage sur les meilleures routes anglaises. On peut l'augmenter un peu dans les parties horizontales et le réduire dans les parties en pente. La limite inférieure du bombement paraît devoir correspondre à l'inclinaison de $0^m.02$ par mètre, c'est-à-dire à celle sur laquelle la pesanteur fait équilibre au frottement sur des routes en parfait état.

Dans tout ce que nous venons de dire, nous avons eu en vue une chaussée arrivée à l'état normal. Mais lorsqu'il s'agit d'une chaussée neuve, si l'on veut avoir un bombement définitif de $0^m.03$ par mètre, il est besoin de se tenir un peu au-dessus au moment de la construction. En effet, dans ce premier moment, les accotements étant encore peu ou point praticables, les voitures se maintiennent de préférence vers le milieu de la chaussée et occasionnent ainsi un tassement inégal; le milieu s'use et se creuse pendant que le cailloutis, chassé vers les bords, ne tarde pas à y former des bourrelets. Sans doute on peut maintenir la régularité du profil par un travail d'entretien bien entendu; mais il n'en est pas moins vrai que ce profil s'affaisse plus ou moins et que le bombement diminue. Pour compenser cet effet de tassement inégal, il convient de porter à environ $0^m.04$, lors de la construction de la chaussée, l'inclinaison de $0^m.03$ qu'on a en vue lorsque cette chaussée sera complètement liée. La surélévation à donner

au bombement dépend, au reste, de la nature des matériaux et des soins portés à l'entretien. C'est une précaution qui deviendrait à peu près inutile si l'on ne voulait livrer au public qu'une chaussée parfaitement affermie et liée.

Forme. — La forme sur laquelle repose la surface inférieure de la chaussée peut être parallèle à la surface supérieure ou simplement horizontale. Cette dernière disposition nous paraît préférable à tous égards.

Comme la circulation a plus d'activité sur le milieu que sur les bords, il convient que la chaussée présente une épaisseur inégale et proportionnelle à la fatigue que supporte chaque point. Or, c'est ce qui a lieu lorsque la forme est horizontale, puisque, par l'effet du bombement, cette épaisseur diminue d'une manière graduelle du milieu vers les bords. A la vérité, une diminution trop rapide pourrait avoir quelques inconvénients pour les chaussées très-larges, en exagérant outre mesure l'épaisseur au milieu. Mais rien de semblable n'est à craindre avec des bombements de 0^m.03. En effet, en supposant une chaussée de 10 mètres de largeur, et de 0^m.10 d'épaisseur moyenne, on aurait 0^m.20 au milieu, 0^m.05 sur les bords, et 0^m.10 au droit des anciennes bordures, ce qui n'a rien que de très-convenable.

En outre, une forme horizontale se prête mieux à l'élargissement ultérieur de la chaussée qu'il ne faut jamais perdre de vue. Avec une forme bombée, il faudrait continuer la même épaisseur jusqu'au bord du fossé, ce qui est évidemment inutile, ou bien l'interrompre et changer de système à partir d'un point donné, ce qui semblerait gauche et sans motifs suffisants.

Ainsi donc, la forme sur laquelle repose la chaussée doit être réglée suivant un plan horizontal passant par les arêtes intérieures des fossés ou à très-peu de distance au-dessous. Si la chaussée n'occupe qu'une partie de la

route, cette forme se trouvera nécessairement un peu encaissée ; si au contraire toute la surface de la route est empierrée, comme cela a lieu en Angleterre, on voit qu'il ne pourra plus y avoir d'encaissement.

Ce que nous venons de dire pour les chaussées bombées s'applique également aux chaussées à un seul revers, attendu qu'une chaussée de cette dernière espèce peut être considérée comme la moitié d'une chaussée bombée.

Composition de la chaussée. — Qualité des matériaux.

— Une chaussée d'empierrement doit remplir deux conditions principales : 1° Présenter au roulage une surface unie, dure et compacte ; 2° abriter complètement le sol sous une couverture imperméable. Il suit de là, que deux qualités sont à considérer dans les matériaux qui la composent : la dureté et la facilité à se lier. On comprend que la réunion de ces deux qualités est très-précieuse, mais elle est loin toutefois d'être indispensable.

La dureté des matériaux ne présente véritablement un grand avantage que pour la composition de la couche supérieure destinée à supporter l'action directe du roulage. Quant à la couche inférieure qui, dans un bon système d'entretien, ne doit jamais être attaquée par les roues des voitures, il suffit qu'elle soit formée de matériaux liants afin de pouvoir intercepter la communication avec le sol et le mettre à l'abri des influences atmosphériques. Cela posé, voici quelle devra être la composition de la chaussée, suivant la nature des matériaux dont on pourra disposer.

Si l'on a en abondance des matériaux réunissant les deux qualités, c'est-à-dire en même temps durs et liants, il n'y aura évidemment rien de mieux à faire que de les employer sur toute l'épaisseur de la chaussée.

Si les matériaux durs sont rares, on les réservera pour la couche supérieure, et l'on fera cette couche d'autant plus mince qu'ils seront plus chers. On pourra même, à la rigueur, ne pas établir de toutes pièces une couche régulière

et se borner à la créer, peu à peu, par voie d'entretien, en disposant à l'avance un approvisionnement un peu considérable.

Si l'on n'a sous la main que des graviers ou d'autres matériaux d'une liaison difficile, il sera absolument nécessaire de fixer leur mobilité par l'étendage d'une petite couche de calcaire très-tendre, de craie, de tuffeau, de détritux, de terre et même, au besoin, de terre forte. Si la chaussée avait plus de 0^m.10 d'épaisseur, le saupoudrage de la surface ne suffirait pas, surtout s'il s'agissait de graviers roulés. Dans ce cas la même opération devrait être faite dans le corps même de la chaussée, c'est-à-dire qu'on étendrait d'abord une couche de matériaux de 0^m.10 qu'on saupoudrerait avec 2 ou 0^m.03 de matières liantes, après quoi l'on compléterait l'épaisseur et l'on saupoudrerait de nouveau la surface. Comme les proportions les plus convenables du saupoudrage dépendent de beaucoup de circonstances et ne sauraient être exactement précisées, on peut être exposé quelquefois à mettre une trop forte dose et à voir la chaussée sale et boueuse en temps de pluie. Mais c'est là un faible inconvénient, ce qui importe avant tout, c'est d'obtenir le plus promptement possible un commencement de liaison afin d'arrêter l'écrasement et les dégradations de toute sorte, résultant de la mobilité des matériaux; si les matières terreuses sont en trop grande quantité, la pression des roues les fera refluer à la surface où elles seront enlevées aisément par le racloir et par le balai.

La nature du sol doit aussi être prise en grande considération. Sur un sol de terre forte ou de calcaire tendre et gélif, les matériaux siliceux, les graviers surtout, font un excellent effet; ils s'y enchassent, l'assèchent et le consolident. A défaut de ces matériaux une simple couche de sable produit à peu près le même résultat. Les graviers ne conviennent pas dans un terrain sablonneux qui ajouterait à

leur mobilité. Mais l'interposition d'une couche du plus mauvais calcaire fixe les sables et forme un fonds solide sur lequel on peut ensuite étendre le gravier en toute sécurité. Au besoin, une couche de terre forte suppléerait suffisamment au calcaire. L'important est de mettre en contact des matériaux dont les qualités contraires se neutralisent et amènent ainsi un état d'équilibre stable. Ainsi une chaussée très-mince, par exemple, imprégnée de toutes parts d'une terre forte à l'état de boue et cédant sous les moindres charges, se raffermirait à l'instant et devient bientôt unie, saine et parfaitement résistante par le simple étendage d'une couche de sable de quelques centimètres d'épaisseur. L'effet est si prompt et si complet qu'on ne peut guère s'en faire une idée juste sans en avoir été témoin.

Grosueur des matériaux. — L'expérience a fait reconnaître que la dimension des matériaux la plus convenable avait pour mesure le passage, en tous sens, dans un anneau de 0^m.06 de diamètre. Cela ne veut pas dire que tous les matériaux doivent avoir la même grosueur de 0^m.06; une telle condition, très-difficile à remplir, serait loin d'ailleurs de présenter aucun avantage. Il importe, au contraire, qu'à partir de 0^m.06 il y ait des matériaux de toute dimension, afin que les plus petits puissent se loger dans les vides laissés par les plus gros et former ainsi une masse plus compacte et moins mobile. C'est du reste ce qui existe dans toute chaussée en parfait état, et l'on doit, autant que possible, réaliser à l'avance ce qui ne manquerait pas d'arriver plus tard par le fait même de la circulation.

La dimension de 0^m.06 ne doit donc être regardée que comme une limite supérieure, un peu trop grande peut-être pour les matériaux très-durs, mais plus que suffisante pour les matériaux tendres.

A la rigueur il ne devrait pas y avoir de limite inférieure, et en effet, il n'y en a pas lorsqu'il s'agit de ma-

tériaux cassés ; alors tout est bon et peut être employé utilement, jusqu'aux débris les plus menus. Mais lorsqu'il s'agit de gravier à fournir par un entrepreneur, il faut bien fixer une limite inférieure, sans quoi l'on pourrait être exposé à n'avoir que du sable. Cette limite est déterminée habituellement par le passage à la claie de 0^m.02.

Lorsqu'une chaussée en bon état supporte depuis longtemps l'action du roulage, la couche supérieure se compose de matériaux ou fragments de matériaux dont la grosseur va toujours en diminuant à mesure qu'ils sont plus rapprochés de la surface. Puisque l'effet inmanquable du roulage est de réduire à une très-petite dimension les matériaux immédiatement en contact avec lui, il convient de lui éviter autant que possible cette peine en ne plaçant à la surface que le produit le plus menu du cassage, et en réservant le reste pour la partie inférieure de la chaussée. Cette séparation des matériaux de diverses grosseurs peut se faire aisément au moyen de fourches en fer à dents plus ou moins espacées. Sans cette attention, et si l'on se bornait à les jeter pêle-mêle dans la forme, l'effet contraire à celui qu'on se propose ne manquerait jamais d'avoir lieu, c'est-à-dire que les plus petits matériaux iraient au fond pendant que les plus gros se montreraient constamment à la surface.

Un dernier cassage sur place, lorsque tous les matériaux sont placés, et que la chaussée a reçu son profil définitif, est encore une très-bonne opération. Non-seulement on ramène ainsi aux dimensions les plus convenables les cailloutis de la surface, mais les petits fragments et détritits, résultant du cassage, s'introduisent dans les vides de la chaussée et contribuent beaucoup à accélérer sa liaison.

Il n'est pas besoin de dire que tous les détritits provenant du cassage opéré en dehors de la chaussée, doivent être réservés avec soin pour être étendus sur la surface.

C'est presque toujours la matière la plus propre à opérer le saupoudrage dont il a été question dans le courant de cet article.

Consolidation de la chaussée. — Lorsque les matériaux ont été placés, ainsi qu'on vient de l'expliquer, de manière à donner à la chaussée ses dimensions normales et dans les conditions les plus favorables pour faciliter sa liaison, il s'en faut de beaucoup qu'on puisse regarder le travail de construction comme terminé. Dans cet état, la chaussée est encore à peine praticable pour les voitures auxquelles elle impose un énorme tirage. Les matériaux étant simplement juxtaposés, les roues les écartent sans peine et creusent rapidement des frayés de plus en plus prononcés qui tendent à se refermer sur eux-mêmes, et dans lesquels elles ne peuvent bientôt se mouvoir qu'avec une extrême difficulté. La circulation ne devient facile que lorsque le passage prolongé des voitures, par le brassement, la trituration, le mélange des détritits et la pression qui en résultent, a donné enfin de la fixité aux matériaux, et formé du tout une masse compacte et résistante.

Or, on doit se demander s'il est bien convenable d'imposer au roulage ce pénible travail de consolidation, et si ce n'est pas un devoir pour l'administration de livrer au public des routes tout à fait terminées et immédiatement praticables, ainsi que cela a lieu, par exemple, à l'égard des routes pavées. La réponse ne saurait être douteuse.

Lorsque la liaison de la chaussée s'opère par le passage des voitures, elle a lieu d'une manière lente, irrégulière, et avec une énorme déperdition de forces, attendu que ces forces agissent au hasard et sans aucune direction. Il est évident que la consolidation opérée par des moyens rationnels, comme ceux que peut employer l'administration, serait infiniment plus économique, car la régularité, l'ordre, l'organisation du travail supposent nécessairement

le bon emploi et l'économie des forces. On dirait en vain , que s'il y a perte pour le public , il y a bénéfice pour le fisc à laisser les choses s'arranger d'elles-mêmes. L'administration à qui est dévolue la direction des forces sociales, ne doit pas s'isoler du public et imposer au roulage une perte de 10 pour 100 pour s'éviter à elle une perte de 1 , et il serait aisé de faire voir que la proportion que nous indiquons ici n'a rien d'exagéré. Mais il y a plus , l'intérêt fiscal est en réalité parfaitement d'accord avec l'intérêt public.

En effet , l'administration peut bien se dispenser du travail de consolidation , mais non pas du travail d'entretien de la route. Or , l'entretien d'une chaussée neuve, qui n'a subi aucun travail d'affermissement , est pendant longtemps très-dispendieux , attendu que la réaction étant égale à l'action, si elle impose une grande gêne aux voitures , les voitures lui font éprouver une fatigue exactement proportionnelle. Il semble que le roulage veuille ainsi protester , à sa manière , contre un système défectueux. Que si , au contraire , on lui donne une surface unie et liée , il est évident que ne rencontrant aucun obstacle il glissera inoffensif sans occasionner aucun dommage , et que dès lors on pourra regagner , par l'économie sur l'entretien , bien au delà de ce qu'aura coûté le travail de consolidation.

Concluons de là que l'administration , dans un intérêt purement fiscal aussi bien que dans de saines vues économiques , ne doit livrer au public que des chaussées immédiatement praticables et présentant un tirage aussi faible que possible , ou , en d'autres termes , réalisant le plus haut degré de beauté. Nous allons examiner quels sont les moyens d'obtenir ce résultat.

Remarquons d'abord que c'est la compression exercée par les roues des voitures qui finit par lier les matériaux , et que cet effet est d'autant plus prompt et plus complet

que les roues sont plus larges et le chargement plus lourd. Le moyen le plus simple d'arriver artificiellement au même résultat consiste donc à soumettre la chaussée au passage d'une roue très-large et très-pesante, c'est-à-dire à faire usage de ce qu'on appelle le rouleau ou cylindre compresseur dont les bons effets, signalés il y a une vingtaine d'années par M. Polonceau, sont aujourd'hui pleinement confirmés par l'expérience.

Cylindrage. — Le cylindre compresseur, pour fonctionner aussi économiquement que possible, doit satisfaire à deux conditions : 1° n'exiger que le moindre tirage pour un poids donné ; 2° se prêter à des poids variables, de telle sorte qu'on puisse augmenter la pression à volonté, et rendre au besoin les déplacements moins dispendieux.

Le cylindre remplira la première condition, si son diamètre est celui des plus grandes roues, c'est-à-dire 1^m.80 à 2^m.00, car on sait que le tirage diminue en raison directe de la racine quarrée du diamètre. Il est vrai qu'un diamètre plus grand donnerait encore un tirage moindre, mais le cylindre serait embarrassant à mouvoir, et la traction par les chevaux ne s'exercerait pas d'une manière aussi avantageuse. Un diamètre de 1^m.80 à 2^m.00 exige une largeur de 1^m.50 pour que la masse soit suffisamment en équilibre.

On pourra augmenter à volonté le poids du cylindre : 1° si l'intérieur est creux ; 2° s'il est accompagné d'un châssis susceptible de recevoir un chargement plus ou moins considérable.

Les cylindres dont on se sert sont de deux sortes : en fonte, ou en bois revêtu de bandes en fer. Ils pèsent environ 3 000 kilogrammes vides, 6 000 kilogrammes pleins, et 8 à 10 000 kilogrammes au plus, avec la charge maximum du châssis. La pression peut donc varier de 20 à 75 kilogrammes par zone d'un centimètre, et elle est ainsi

bien inférieure à celle des grosses voitures de roulage. Mais elle agit autrement, les matériaux pressés en même temps sur une grande étendue ne pouvant pas s'échapper comme cela a lieu avec les roues ordinaires. Toujours est-il que dans des conditions d'exécution convenables, elle est très-suffisante ainsi que l'expérience l'a démontré un grand nombre de fois. Il ne faut pas omettre de dire que le cylindre doit pouvoir s'atteler également à l'avant et à l'arrière, afin qu'on ne soit pas obligé de le faire tourner sur place, manœuvre difficile et qui présenterait beaucoup d'inconvénients.

Lorsqu'une chaussée neuve est livrée au roulage sans préparation aucune, les circonstances qui favorisent à la longue sa liaison, sont : 1° l'écrasement d'une partie des matériaux et l'apport par les roues de matières terreuses ayant pour effet de remplir peu à peu les vides ; 2° l'alternative des influences atmosphériques et surtout l'action des pluies. Or, le cylindre écrase très-peu et n'amène rien sur la chaussée. De plus, comme il opère dans un très-court intervalle de temps, on ne saurait compter sur des pluies arrivant à point nommé en proportion exacte avec les besoins. Mais on peut suppléer à cette absence de circonstances favorables : 1° par le recassage de la surface et par l'étendage d'une petite couche de détritux, terre, etc. ; 2° par l'arrosage.

Enfin il faut bien remarquer que le cylindre ne pouvant pas comme les roues agir directement sur les matériaux situés à une certaine profondeur, son action se limite forcément à une couche beaucoup plus mince.

Ces principes posés, expliquons comment doit s'exécuter l'opération du cylindrage.

On fera d'abord passer le cylindre, à vide, après un recassage sur place. Ce premier passage ne fera guère que rapprocher les matériaux et glacer la surface, mais sans opérer aucune liaison, à moins qu'il s'agisse de matériaux

très-tendres. On étendra ensuite une petite couche de matières liantes, ainsi qu'il a été dit précédemment, après avoir, toutefois, arrosé si le temps est trop sec. On fera passer de nouveau le cylindre à vide, ensuite plein et enfin complètement chargé. Pendant ces passages on répandra de nouveau des matières liantes sur les parties qui s'en trouveraient dégarnies. Il sera nécessaire de faire un ou plusieurs arrosages, suivant l'état atmosphérique et la nature des matériaux, pour faire pénétrer les matières liantes dans l'intérieur et pour rendre leur action plus efficace.

Le nombre des passages nécessaires pour opérer la liaison dépend de la nature des matériaux, un peu de la nature du sol et beaucoup de l'épaisseur de la couche. Les chaussées de 0^m.10 à 0^m.12 sont celles qui se lient le plus promptement. Il y a alors si peu de distance entre la surface inférieure qui s'appuie dans le sol et la surface supérieure saupoudrée de détritns, que tous les vides se remplissent aisément, et que tous les matériaux se trouvent en contact avec des matières tendres qui les fixent sans peine sous la pression du cylindre. Dans ce cas, huit ou dix passages sur chaque point de la chaussée sont à peu près suffisants ; savoir : deux à sec et à vide ; deux à vide après le répandage des détritns ; deux à plein et deux avec charge entière, enfin un dernier passage à huit ou quinze jours de distance après que la route a été livrée au public.

Tous ces passages peuvent se faire, à peu près, avec le même nombre de chevaux, parce qu'à mesure que le poids augmente le rouler devient de plus en plus facile par le fait même de l'opération. Il faut d'ailleurs prendre garde de n'imposer aux chevaux qu'un effort de traction modérée, sans quoi leurs pieds, forcés de chercher un point d'appui dans la chaussée, détruiraient à chaque instant le commencement de liaison opérée par le cylindre. C'est ce qui rend l'opération difficile et dispendieuse dans les pentes.

Là, le nombre des chevaux doit être beaucoup augmenté par rapport à celui nécessaire en plaine, et comme un attelage fonctionne d'ailleurs d'autant plus mal qu'il est plus nombreux, pour des pentes au-dessus de 5 centimètres le cylindrage devient à peu près impossible.

Si la chaussée avait plus de 10 à 12 centimètres d'épaisseur moyenne, il conviendrait de la construire en deux couches que l'on soumettrait successivement à l'action du cylindre. Seulement il ne faudrait pas attendre pour placer la deuxième couche que la première fût arrivée à l'état normal. Il vaudrait mieux, au contraire, profiter du moment où la circulation des voitures aurait amené quelques frayés à la surface. On ferait, en outre, coïncider cette opération avec un temps de pluie, ou bien on aurait soin d'arroser.

Nous avons dit que pour une épaisseur de 10 à 12 centimètres, 8 à 10 passages du cylindre étaient, en général, suffisants, mais ce chiffre ne peut avoir rien de rigoureux. Si le nombre des passages est faible, la chaussée conservera encore un peu de mobilité; dans ce cas, il faudra un entretien plus soigné, et partant plus dispendieux, qu'elle ne se dégrade pas. Si le nombre des passages est considérable, l'opération du cylindrage aura coûté plus cher, la liaison étant plus parfaite, les frais ultérieurs d'entretien seront moindres. Il y a donc un certain nombre de passages qui est le plus avantageux sous le rapport économique, mais qu'on ne saurait préciser à l'avance, et que l'expérience seule peut faire connaître dans chaque cas particulier.

Pilonnage. — Ce qu'il y a de certain, c'est qu'on n'obtient jamais, par l'emploi du cylindre, quel que soit le nombre des passages, une liaison aussi complète que celle qui s'établit à la suite d'une longue circulation. Il se développe probablement, dans ce dernier cas, une action chimique pour laquelle le temps est une condition indis-

pensable et que rien ne saurait remplacer. Ainsi il ne faudrait pas croire qu'une chaussée cylindrée n'exige plus aucun soin, et peut être abandonnée à elle-même dans les premiers temps qui suivront l'opération. Sans doute les roues n'y creuseront pas immédiatement des ornières, ni même des frayés prononcés, mais enfin elles y laisseront des traces qui pourront, si l'on n'y prend pas garde, s'approfondir assez vite sous l'empire de circonstances défavorables. Il importe donc de maintenir avec soin le profil normal en effaçant avec le balai les moindres traces qui se dessinent, et en rétablissant par compression l'uni de la surface, lorsqu'il vient à être altéré. Anciennement on se bornait à gratter les bourrelets et à régaler les matériaux au moyen d'un rateau en fer. Mais ce procédé est évidemment vicieux, puisqu'il agit par désagrégation, et remet ainsi continuellement en question la liaison de la chaussée. Le seul procédé rationnel est celui qui agit par compression, c'est-à-dire le pilonnage tel qu'il est employé, du reste, pour l'entretien des routes à l'état normal. Les pilons dont se servent les cantonniers ont la forme d'une hye, pèsent de 7 à 10 kilogrammes, et sont armés d'une frette en fer. Le diamètre de la base est d'environ 20 centimètres.

Le nombre des ouvriers occupés au pilonnage, et le temps qu'exigera cette opération seront d'autant moins grands, que le nombre des passages du cylindre aura été plus considérable. Mais, quoi qu'il en soit, il ne faut jamais s'arrêter devant la dépense de la main-d'œuvre et être bien convaincu que le travail qui maintiendra le plus complètement l'uni de la surface sera toujours en définitive le plus économique.

L'opération du pilonnage, que nous ne présentons ici que comme le complément de celle du cylindrage, peut cependant la remplacer à la rigueur, et, quelquefois même, d'une manière très-avantageuse. Ainsi, l'emploi du cy-

lindre et son transport sur les points éloignés supposent un atelier d'une certaine étendue, sans quoi l'opération deviendrait trop dispendieuse. S'il ne s'agit que d'une faible longueur on devra donner la préférence au pilonnage qui procurera, à moins de frais, une liaison très-satisfaisante au bout d'un temps assez court, un ou deux mois par exemple, pour des routes soumises à une fréquentation moyenne. Nous dirons la même chose pour des pentes un peu prononcées. Ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, le cylindrage en est difficile et dispendieux, à cause du grand effort de traction qu'elles exigent à la montée, et de la désagrégation exercée par les pieds des chevaux. Le travail du pilonnage, au contraire, est indépendant de la pente et n'entraîne aucune désagrégation. Il peut donc y avoir de très-bons motifs pour lui donner encore ici la préférence.

Remorqueur à vapeur. — Le grave inconvénient que présentent les pieds des chevaux, doit amener par la suite l'emploi de machines locomotives comme moyen de traction du cylindre compresseur. Sans doute il n'y aurait pas avantage à faire la dépense d'une telle machine, s'il ne s'agissait que de cylindrer quelques lieues de chaussée. Mais le nombre de locomotives employées aux chemins de fer augmente de plus en plus et se répand déjà dans un grand nombre de localités. En outre, le moment n'est pas loin où l'on verra les voitures à vapeur circuler sur les routes ordinaires pour le transport des voyageurs. Lorsqu'on aura partout à proximité des locomotives de la force de 10 à 25 chevaux, il est probable qu'on trouvera aisément à les louer au lieu d'être obligé de les acheter, et alors leur emploi, comme remorqueur du cylindre, pourra devenir économique.

Si l'on cherche à se rendre compte de la dépense dans cette hypothèse, on verra que le charbon consommé par une locomotive, pour traîner un cylindre de 10 à 15000

kilogrammes , n'équivaut pas au louage des chevaux nécessaires pour obtenir le même résultat. Or , en supposant que la dépense fût la même , on aurait encore l'avantage : 1° de pouvoir employer un cylindre plus pesant et agissant par conséquent avec plus d'efficacité ; 2° de pouvoir opérer aisément et sans danger sur les plus fortes rampes ; 3° d'obtenir , dans un temps donné , un résultat double de celui produit par les chevaux , la locomotive étant elle-même un compresseur du poids de 10,000 kilogrammes , et l'action de ses roues étant aussi favorable à la liaison que celle du pied des chevaux lui est nuisible.

Cylindrage par les chevaux de l'armée. — En attendant l'emploi des remorqueurs à vapeur , il serait à désirer que les chevaux de l'armée , surtout ceux du train de l'artillerie des équipages , fussent employés , autant que possible , au cylindrage des chaussées d'empierrement. On pourrait ainsi utiliser des forces précieuses dans les moments bien nombreux où elles ne rendent aucun service ; on mettrait le travail en honneur dans l'armée , et l'on rendrait l'armée plus populaire en la faisant contribuer au bien-être des localités et à l'accroissement de la richesse du pays. Ce serait un précieux exemple de cette application de l'armée aux travaux publics si vivement réclamée par tous les bons esprits.

Tels sont les procédés dont l'ensemble constitue le mode de construction rationnel des chaussées d'empierrement. Ainsi qu'on l'a déjà fait remarquer plusieurs fois , tous ces procédés ont pour base le principe du maximum de beauté , c'est-à-dire cette idée mère qu'il y a tout avantage , même sous le rapport économique , à donner au public des routes remplissant leur destination de la manière la plus parfaite , ou , en d'autres termes , des routes parfaitement belles.

Lorsqu'une chaussée a été construite d'après ce prin-

cipe et conformément aux procédés que nous venons de décrire en détail, elle doit présenter sans aucun doute le maximum de solidité avec le minimum d'épaisseur, et, partant, avec le minimum de dépense. Si cette épaisseur paraît faible, en la comparant à celle généralement adoptée, il faut bien remarquer en revanche qu'elle forme une masse parfaitement compacte et n'ayant éprouvé aucune altération. Dans une telle chaussée, établie sur une épaisseur de 0^m.10 par exemple, que l'on fasse des tranchées longtemps après qu'elle aura été livrée au public, et l'on trouvera partout cette épaisseur normale de 0^m.10. Mais que l'on sonde, au contraire, une chaussée de 0^m.20 d'épaisseur consolidée à la longue par l'action désordonnée du roulage et par des additions successives de matériaux, et au lieu d'une épaisseur régulière de 0^m.25, équivalent des matériaux employés, on trouvera tantôt 0^m.30, tantôt 0^m.15, tantôt 0^m.05 seulement, et toujours avec un mélange plus ou moins considérable, souvent excessif, de terre ou de détritux, de telle sorte que cette chaussée, qui aura absorbé trois fois plus de matériaux que la première et imposé au roulage une gêne dix fois plus grande, présentera cependant, en définitive, une solidité beaucoup moins réelle. C'est que, dans notre système, il n'y a pas une pierre de perdue, que tout concourt à l'effet utile, et que dès lors, nous devons obtenir le résultat le plus parfait avec la plus grande économie de moyens, au lieu que, dans l'ancien système, le défaut de direction, le désordre du laisser faire, doivent entraîner une grande déperdition de forces, et par suite une dépense beaucoup plus considérable pour un résultat beaucoup moins satisfaisant. Ne cessons de répéter que la solidité, la beauté et l'économie sont les conséquences nécessaires de tout travail rationnellement conçu et rationnellement exécuté.

Ouvrages accessoires. — Il nous reste maintenant à dire un mot de quelques ouvrages accessoires, en tant

qu'ils intéressent la conservation de la chaussée, ou bien la facilité et la sécurité de la circulation.

Accotements. — Lorsque la chaussée n'occupe pas toute la largeur de la route, elle est accompagnée de deux accotements qui, dans l'origine, ne sont autre chose que du terrain naturel, mais qui se transforment à la longue, par le mélange ou la superposition des détritns, et qui finissent par acquérir ainsi une solidité suffisante pour supporter la circulation des voitures pendant la plus grande partie de l'année. Si donc on adopte pour ces accotements une pente en travers égale à celle de la chaussée, c'est-à-dire de $0^m.03$ par mètre lorsqu'ils seront arrivés à l'état normal, il est nécessaire de leur donner, au moment de la construction, une pente plus forte, et de les maintenir d'abord un peu plus bas. Cette précaution est surtout indispensable dans les terrains argileux et dans les parties horizontales. Là, on pourra, sans inconvénient, porter la pente à $0^m.04$, $0^m.05$, et jusqu'à $0^m.06$ par mètre. Ils ne tarderont pas à se relever suffisamment.

Cassis, aqueducs. — Il importe, pour la conservation de la route et la facilité de la circulation, que l'écoulement des eaux soit rendu tout à fait indépendant de la surface. Ainsi les cassis dont on faisait autrefois un si fréquent usage, doivent être supprimés et remplacés par des aqueducs. Les cassis deviennent dangereux en hiver, et le cassage des glaces exige alors une main-d'œuvre dispendieuse; en toutes saisons, ils imposent au roulage des secousses fatigantes qui réagissent au détriment de la chaussée. Il n'y a donc aucun motif raisonnable pour les conserver.

Écharpes. — Les écharpes doivent être supprimées aussi bien que les cassis. Elles ont pour objet de rompre l'écoulement des eaux afin de prévenir le ravinement de la chaussée et des bas-côtés dans les longues pentes. Mais si l'entretien est fait avec tous les soins convenables, si la

surface est maintenue unie et saine , cet inconvénient est peu à craindre. D'un autre côté, les écharpes se présentant obliquement à la circulation et lui offrant une résistance inégale, amènent continuellement des chocs qui sont une cause incessante de dégradation. Ainsi elles ne font autre chose que remplacer un inconvénient passager par un inconvénient de tous les instants.

Enfin , les écharpes imposent une gêne intolérable aux voitures, et de véritables dangers aux voitures rapides , et ce motif seul suffirait pour les faire proscrire , quand même elles présenteraient quelques avantages sous le rapport de la conservation de la route ; car les routes étant faites pour le roulage , la facilité du parcours est évidemment la première condition à laquelle elles doivent satisfaire.

Rigoles pavées. — Dans les traverses rurales et aux abords des villes , il est nécessaire de remplacer les fossés par des rigoles pavées qui procurent l'écoulement des eaux avec plus de propreté et moins de gêne pour la circulation. Ces rigoles doivent être espacées le plus possible entre elles , afin que les voitures puissent se croiser aisément sans les atteindre et éviter ainsi les cahots et les dégradations qui en seraient la suite. Lorsqu'il reste entre les rigoles et les bâtiments un espace de plus d'un mètre , il y a tout avantage à le convertir en trottoir , en supprimant le revers extérieur des rigoles. Cette disposition n'est pas plus coûteuse , les matériaux du revers supprimé pouvant former la bordure du trottoir , et elle est beaucoup plus commode , attendu qu'elle met les piétons complètement à l'abri des voitures. Il y a lieu de l'appliquer aux abords des villes aussi bien que dans les traverses rurales et par les mêmes motifs.

Parapets , banquettes. — Il n'est pas besoin de dire que des parapets doivent être établis sur tous les murs de soutènement ; mais il arrive souvent que par suite d'une

ancienne habitude, on se dispense d'en placer sur les têtes des ponceaux et aqueducs. C'est ce qui pouvait, en effet, avoir peu d'inconvénients sur des routes d'une largeur excessive; mais aujourd'hui que les routes sont beaucoup plus étroites, cette précaution est indispensable.

Les remblais de plus de 2 mètres d'élévation exigent des banquettes soit en terre, soit en pierre. Si la pierre est à proximité on donnera la préférence à ce dernier mode; si elle est rare on l'emploiera seulement en parement intérieur; si elle est trop coûteuse on se bornera à une simple banquette en terre. Dans le cas où l'on aurait un grand intérêt à ménager l'espace on pourrait, au lieu de banquettes, établir une barrière en bois sur l'arête de l'accotement.

Des arbres très-rapprochés fournissent également une très-bonne défense, de même qu'une haie vive en épinés qu'on peut placer sur le bord de l'accotement, ou sur le talus, suivant la largeur de la route.

Plantations. — Les plantations ne sont pas seulement utiles dans les remblais comme moyen de défense, elles sont encore très-favorables à la conservation des routes bien entretenues, en y maintenant une humidité dont le besoin se fait vivement sentir pendant la plus grande partie de la belle saison. En outre elles ont l'avantage de rompre les vents, de servir de guides dans les temps de neiges, de ne pas laisser entièrement stérile la force végétative du terrain occupé par les routes, et enfin de procurer au trésor un très-bon placement, et au pays un de ses plus précieux embellissements.

Gares. — Sur les routes très-étroites on ménage quelquefois, de loin en loin, des gares pour le dépôt des matériaux destinés à l'entretien. Mais de deux choses l'une, ou ces gares sont assez éloignées entre elles, et alors le cantonnier est obligé d'aller chercher à une grande distance les matériaux dont il veut faire l'emploi, ce qui lui

fait perdre une partie de son temps et motive de sa part beaucoup de négligence, ou bien les gares sont très-rapprochées; mais alors il est tout aussi avantageux et **bien** plus simple d'augmenter régulièrement la largeur de la route sur toute son étendue. En général les gares nous paraissent peu motivées. On peut d'ailleurs éviter ou beaucoup diminuer les inconvénients qui résultent du dépôt des matériaux d'approvisionnement le long des routes : 1° en adoptant pour les tas des formes très-allongées et en réduisant la largeur à la plus petite dimension possible; 2° en plaçant tous les tas d'un même côté, sauf à distinguer, par des formes variées, les tas appartenant à des fournitures différentes; 3° enfin, en adoptant le système d'entretien qui réduit au minimum le cube des matériaux, c'est-à-dire le système du balayage ou du maximum de beauté.

TABLES DES MATIÈRES

DISPOSÉES

PAR ORDRE D'INSERTION ET PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE,

POUR

LES MÉMOIRES ET DOCUMENTS

PUBLIÉS EN 1843.

1^{er} SEMESTRE.

PREMIÈRE TABLE.

RÉCAPITULATION GÉNÉRALE PAR ORDRE D'INSERTION.

NUMÉROS des Planches.	INDICATION DES MATIÈRES.	NUMÉROS des Pages.	NUMÉROS des Articles.	RAPPEL des Collets.
	Nécrologie; M. Bérigny :			
	1 ^o Paroles prononcées sur sa tombe; par M. Robin.	1	64	
	2 ^o Notice nécrologique; par M. Fèvre.	4		
	Navigation à la vapeur sur la Saône et sur le Rhône; notice par W. Manès.	10	65	
36	Chemins de fer; emploi de la pression atmosphérique comme force motrice; traduction de l'anglais par M. E. Hérard	47	66	1
3- et 38	Tranchée de Glomel (canal de Nantes à Brest); consolidation des talus; note par M. Deschamps de Pas.	78	67	
39	Percements souterrains; dépense; notice par M. Michaux.	99	68	
	Chaux et ciments hydrauliques; recherches statistiques; par M. Vicat.	116	69	
	Hydraulique; action des vagues à de grandes profondeurs; par M. Siau.	126	70	

numéros des Planches.	INDICATION DES MATIÈRES.	numéros des Pages.	numéros des Articles.	appel des Cahiers.
40. 41 et 42	Chemins de fer : plans inclinés de Liège ; notice par M. Garella.	129	71	
43	Canaux souterrains de Worsley ; extrait de M.M. Fournel et L. d'Yèvre.	164	72	2
	Routes ; pertes occasionnées par les fortes dé- clivités et les tracés vicieux ; note par M. Commier.	211	73	
44	Barrages à fermettes mobiles ; échappements : 1° Mémoires sur les appareils employés sur l'Yonne ; par M. Chanoine.	241	74	
45	2° Note sur les appareils employés au barrage de la Marne ; par M. Charles Poirée. . . .	264		
46.	Chemins de fer ; accidents auxquels ils peuvent donner lieu ; mémoire par M. Locart. . . .	274	75	3
47	Routes en empiérement ; construction ; mé- moire par M. Dumas.	340	76	
	Tables des matières pour le 1 ^{er} semestre 1843. .	379		

DEUXIÈME TABLE.

ANALYSE DES MATIÈRES PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

A

Accidents sur les chemins de fer ,
moyen de les prévenir, 274.
Aiguilles (barrages à), 241.
— pour changer de voie sur les che-
mins de fer, 134.
Airage (mines de Worsley), 183.
Angleterre. Canaux souterrains de
Worsley, 164. — Emploi de la
pression atmosphérique comme
force motrice sur les chemins de
fer, 47. — Accidents sur les che-
mins de fer, 274.
Arago, 307.
Auxerre, 241, 242.
Axe. *Voir* Poulies.

B

Barrages à fermettes mobiles, 241.
Bassin (grand) des canaux souter-
rains de Worsley, 166, 196.
Basson, 244.
Bateaux employés pour l'exploita-
tion des mines de Worsley. —
Bateaux à bennes (tub boats),
176, 178. — M. boats, 177, 179,
194, 203, 205. — Narrow boats,
179, 202, 205. — Flats, 201, 204,
207. — Lighters, 202, 205. —
Halage, 179, 194.
Belgique. Chemins de fer, 129, 275,
282, 285.
Bennes (mines de Worsley), 176,
179, 185, 187.
Bérigny (notice nécrologique sur
M.), 1.
Blackwall, 287.
Boucherie, 286.
Bridgewater (canal du duc de),
165, 197. — Section, 198. — Déve-
loppement, *ibid.* — Écluses, 200.
— Bateaux, 201. — Prix du trans-
port, 203. — Services rendus par
le canal, 209. — Transport par
voitures de Worsley à Manches-
ter, 210.

Bridgewater (duc de), 165, 166,
170, 197.
Brindley, 166, 197, 170.
Briques employées à la construction
des canaux souterrains de Wors-
ley (prix des), 188.

C

Câbles employés au service des
puits des mines de Worsley, 187.
Voir Poulies.
Caisse soupape (machine à eau),
184.
— à patins servant au transport de
la houille dans l'intérieur des
mines de Worsley, 176.

Canaux :

— Consolidation des talus de la
tranchée de Glomel au canal de
Nantes à Brest ; notice par M.
Deschamps de Pas, 78. — Tra-
vaux exécutés pour l'ouverture
de la tranchée, 78. — Sa descrip-
tion, 79. — Nature du terrain,
80. — Accidents arrivés en 1828,
82. — Etat des travaux en 1835,
84. — Premiers essais de consoli-
dation en 1836. *ibid.* — Travaux
en 1837, 87. — Modifications
faites en 1838, 89. — Influence
de l'inclinaison des talus, 90. —
Nouveaux accidents en 1838, 91.
Mode de réparation adopté en
1840, 93. — Résumé des moyens
de consolidation employés, 96.
— Notice sur les souterrains de
Han et de Revin exécutés par
voie de régie, par M. Michaux,
99. — Circonstances locales rela-
tives au souterrain de Han, *ibid.*
Profil, 100. — Durée des travaux,
ibid. — Volume des déblais, *ibid.*
— Rapport entre les dépenses de
différentes natures, 101. — Sou-
terrain de Revin, terrain tra-
versé, 107. — Profil, *ibid.* — Du-
rée de l'exécution, 108. — Volume

- Canaux (suite) :**
 du déblai, *ibid.* — Distinction entre les dépenses, 109. — Dépense d'un mètre linéaire de souterrain, 106, 115.
 — Souterrains de Worsley, près Manchester; détails extraits du mémoire de M.M. H. Fournel et I. d'Yèvre, 164. — Introduction par L. C. M., *ibid.*
 Chap. I. Travaux exécutés : — de 1766 à 1822, 165. — de 1822 à 1842, *ibid.* — Niveau moyen; branche principale, 166. — Branches à l'est et à l'ouest, 168. — Niveau supérieur, 169. — Niveau inférieur, 172. — Développement général, 173. — Plan général d'exploitation, *ibid.*
 — Chap. II. Moyens employés. — Mode d'exploitation, 174. — Transports intérieurs, 175. — Transports extérieurs, 181. — Airage, 183. — Éclairage, *ibid.* Épuisement des eaux, *ibid.* — Service des puits, 184. — Détails de construction; matériaux, 188. — Prix de revient d'un mètre courant de canal souterrain : à petite section, 190; à grande section, 192. — Prix de revient des bateaux, 194. — Canal du duc de Bridgewater, 197. *Voir* Bateaux; Benues; Caisses à patins; Construction; Halage; Mines; Plan incliné; Transports; Vannes; Wagons.
 Cantal. *Voir* Routes.
 Chainette (la), 244.
 Chambrière, 280.
 Champfleury, 244.
 Chanoine. Mémoire sur les échappements employés aux barrages de l'Yonne, 241.
 Charbon. *Voir*. Mines; Transport.
 Chariot de tension (plans inclinés de Liège), 137.
 Chasses pour nettoyer le fond des canaux souterrains de Worsley, 167.
 Chaussées en empierrement. *Voir* Routes.
 Chaux et ciments hydrauliques; Recherches statistiques par M. Vicat dans cinq départements,

116. — Observations sur les chaux siliceuses, 120. — Chaux de Tournay; explication du gonflement des mortiers dans lesquels on les emploie, 121.
 — de Tournay, 121. — Composition, 123.
 Chemins de fer :
 — Emploi de la pression atmosphérique comme force motrice sur les chemins de fer; extrait de diverses publications anglaises, par M. Hérard, 47. — Mode de traction, *ibid.* — Conduite, *ibid.* Sa fermeture par des soupapes, 49. — Soupape de sortie, 50. — *Id.* d'entrée, 51. — Expériences faites à Wormwood-Scrubs, 52. Réponse aux objections faites contre le nouveau système, 56. — Désavantages du système locomotif, 61. — Tableau des poids trainés par une locomotive sur diverses pentes, 62. — Avantages du système atmosphérique, 65. — Tableau comparatif du prix des deux systèmes, 67. — Application du nouveau système aux grandes routes, 70. — Lettre au président du conseil de commerce, 73.
 — Notice sur les plans inclinés de Liège, par M. Garella, 129. — Topographie, *ibid.* — Description générale des plans inclinés, 131. — Dépenses, 133. — Description détaillée, 134. — Machines à vapeur, *ib.* — Poulies motrices, 136. — Manchon d'embrayage, *ibid.* — Câble de traction, *ibid.* — Chariot de tension, 137. — Inclinaison des machines, 139. — Compteur indiquant la position des convois sur les plans inclinés, *ibid.* — Freins des poulies, *ibid.* — Régulateur, 140. — Puits pour l'alimentation des condenseurs des machines, 141. — Appareil pour les signaux, *ibid.* — Waggon frein pour modérer la vitesse des convois descendants, 143. — Pince à dé clic pour attacher les convois remontants au câble de traction, 146. — Manœuvre des convois, 147. — Durée du parcours, 149. — Maxi-

Chemins de fer (*suite*) :

— *mum d'effet* que peuvent produire les machines ; consommation de combustible, personnel, etc. — Note L. Calcul de la force des machines par M. Maus, 153. — Note II. Ordre de service relatif à la manœuvre des plans inclinés, 158. — Légende des planches, 160.
 — Mémoire sur les accidents auxquels ils peuvent donner lieu, sur leurs causes, et sur les moyens de les prévenir, par M. Locart, 274. — But des chemins de fer, vitesse, économie, *ibid.* — Commodité, 275. — Prix de transport en France, en Belgique, en Angleterre, *ibid.* — Sécurité, 276. — Principales causes d'accidents, 278. — Collisions, *ibid.* — Arrêts subits, 281. — Rupture de rails, 283. — Rails sortis des coussinets, 285. — Rupture d'un coussinet de joint, *ibid.* — Manque de coins dans les coussinets de joint, 286. — Manque des chevilles des coussinets de joint, 288. — Changements de voie, 291. — Contre-rails, 293. — Rupture des essieux, 295. — Essieux faussés, 300. — Rupture des roues, 301. — *Id.* d'un ressort de suspension, 303. — Explosion, *ibid.* — Ressorts de forces inégales, 304. — Rupture de bielles, *ibid.* — De la vitesse, 305. — Meilleur système de locomotion, 306. — Deux locomotives dans un même convoi, 309. — Régulateur, 311. — Résistance de l'air, *ibid.* — Des encas, 313. — Enrayage subit, *ibid.* — Waggon préervatifs, 315. — *Id.* intermédiaires, 319. — Frais des diligences, *ibid.* — Personnel, *ibid.* — Machine à décrocher, *ibid.* — Ses avantages, 323. — Emploi du sable, 329. — Communication rapide entre les diligences d'un convoi, 321. — Accidents prévenus, 324. — Nouveau système de diligences, 327. — Voiture à huit roues, 329. — *Id.* à six roues, 330. — Avantages des nouvelles voitures, 333. — Explication des planches.

— Des canaux souterrains de Worsley, 175, 178.
 Ciments. *Voir* Chaux et ciments.
 Clegg, 47.
 Cloche d'avertissement sur les chemins de fer, 321.
 Coke. *Voir* Transports.
 Cominier. Mémoire sur les pertes occasionnées par les fortes déclivités des routes et par les tracés vicieux, 311.
 Compteur (plans inclinés de Liège), 140.
 Construction des canaux souterrains de Worsley, 172, 188. *Voir* Briques ; Déblais ; Mortiers.
 Contre-rails, 134, 293.
 Convois (manœuvre des) sur les plans inclinés du chemin de fer de Liège, 147, 158.
 Cordier, 188, 200.
 Croydon, 305.
 Cylindrage des chaussées, 367.

D

Déblais (cube des) occasionnés par l'établissement des plans inclinés de Liège, 133.
 — à la mine, 104, 111.
 — (prix de transport des) dans les mines de Worsley, 190.
 Déclivité. *Voir* Routes.
 Damas. Mémoire sur la construction des routes en empierrement, 340.
 Dupin (Charles), 170, 172, 201.
 Dutens, 170, 210.
 Duval, 338.
 Dynamique. *Voir* Machines à vapeur ; Poulies ; Waggon ; Frein.

E

Eaux. *Voir* Épuisement.
 Éboulis, 82, 85, 86, 88, 89.
 Échappements. *Voir* Navigation fluviale.
 Écharpes sur les talus de Glomel, 87, 98.
 Éclairage (mines de Worsley), 183.
 Écluses (canal du duc de Bridgewater), 200.
 Egerton (Francis), 182, 188.
 Egerton (Henri), 169, 171.
 Empierrements. *Voir* Routes.

Encas, 313.
 Enrayage, 313.
 Epineau, 244.
 Épuisement des eaux des mines de Worsley, 184.
 Essieux, 295. — *Id.* faussés, 300.
 Etienne (chemin de fer de Saint-), 277, 281, 283.
 Exploitation. *Voir* Mines.

F

Fascines, 86, 90, 97.
 Favier. Son Essai sur les lois du mouvement de traction, 218.
 Fèvre. Notice nécrologique sur M. Bérigny, 4.
 Flachet, 307, 338.
 Fournel (H.). Mémoire sur les canaux souterrains de Worsley, près Manchester (extrait), 164.
 Frein (machine à eau de Worsley), 184 — Diligences, 319.
 — de poulie, 140. — *Voir* Frein ; Traineau ; Waggon.
 — de waggons (mines de Worsley), 178, 182.
 Frottement. *Voir* Frein ; Poulies ; Waggon.

G

Galeries souterraines de Worsley, 164. — *Voir* Canaux.
 Garella. Notice sur les plans inclinés de Liège, 129.
 Gares (canaux), 166. — (chemins de fer), 134.
 Gaz (mines de Worsley), 183.
 Gazonnement, 86, 89, 94, 97.
 Glomel. *Voir* Canaux.
 Granite, 80.
 Grès (mines de Worsley), 167, 188.
 Grisou (mines de Worsley), 183.

H

Halage sur les canaux souterrains de Worsley, 179, 194.
 Han (souterrain de), 99.
 Hérard. Notice sur un chemin de fer à pression atmosphérique, 47.
 Héron de Villefosse, 170.
 Houillères de Worsley, 164. — *Voir* Bridgewater ; Mines.
 Huerne de Pommeuse, 165, 169, 170, 180, 181, 210.

J

Johnson (W.), 201.
 Joigny, 244.

L

Laroche, 245.
 Leeds, 275.
 Létau, 244.
 Liège (plans inclinés de), 129.
 Locart. Mémoire sur les accidents auxquels les chemins de fer peuvent donner lieu, et sur les moyens de les prévenir, 274.
 Locomotives (explosion des), 303.
 — américaines, 306, 335, 337.

M

Machines à eau (*balance engine*) employées au service des puits des mines de Worsley, 184.
 Machines à décrocher, 319.
 Machines à vapeur employées sur les plans inclinés de Liège : — Description, 134, 138. — Effet utile ; combustible ; personnel, etc., 150. — Calcul de leur force, 153.
 Manby, 307.
 Manchester, 275, 309.
 Manchon d'embrayage des poulies, 138.
 Manès. Notice sur la navigation à la vapeur de la Saône et du Rhône, considérée comme moyen rapide de communication entre Paris et Marseille, 10.
 Manœuvre. *Voir* Convois.
 Martin, 244, 250.
 Maus, 153.
 Michaux. Notice sur les souterrains de Han et de Revin, 99.
 Mines. — Frais et travaux y relatifs, 104, 111, 112.
 — de Worsley, 164. — Mode d'exploitation ; préparation des massifs, 174. — Arrachement de la houille, *ibid.* *Voir* Transport.
 Montereau, 241, 242, 245.
 Mortiers employés à la construction des canaux souterrains de Worsley (prix des), 189.

N

Navigation fluviale :

— Échappements des barrages à fermettes mobiles, 241. — 1^o Mémoire sur les échappements employés aux barrages de l'Yonne, par M. Chanoine, 241. — Description des travaux adoptés pour améliorer la navigation de l'Yonne, 241. — Barrage d'arrêt, 242; *Id.* de retenue, 243. — Expériences sur les barrages établis, 249. — Description des premiers barrages à fermettes, 246. — Temps pour ouvrir une passe, 247. — Changements introduits dans la forme et la disposition des fermettes, 248. — Disposition du barrage de Saint-Martin, 250. — Échappements et barres de réunion des fermettes, 251. — Réunion des fermettes à échappements, 252. — Manœuvre *id.*, 253. — Détails sur l'excentrique, 255. — Temps nécessaire pour ouvrir la passe, 258. — Éclairage, *ibid.* — Chute immédiate des fermettes dans l'encastrement, *ibid.* — Précautions à prendre lors des débouchages, 259. — Poids d'une fermette, 261. — Succès obtenus, *ibid.* — Conclusion, 262. — Explication des planches, *ibid.* — 2^o Notes sur le système adopté au barrage de la Morue, 263. — Manœuvre ordinaire, 265. — Description de l'échappement de M. Poirée, 266. — Sa manœuvre, 267. — Possibilité d'augmenter la hauteur des fermettes, 271. — Détails sur les pièces employées dans le système d'échappement, 272.

Navigation à la vapeur sur la Saône et le Rhône, considérée comme moyen rapide de communication entre Paris et Marseille; notice par M. Manès, 10. — Considérations générales, 10. — Navigation sur la Saône, 12. — Longueur, pente, profondeur et volume de la grande Saône, 13. — Établissement de la navigation à vapeur entre

Chalon et Lyon, 15. — Bateaux employés, 15. — Description de l'Hirondelle n^o 3, 17. — Bateaux employés en 1843, 24. — Navigation sur le Rhône, 26. — Haut-Rhône entre Genève et Lyon, sa longueur, sa pente, 27. — Bas-Rhône, en aval de Lyon, longueur, pente, 28. — Volume, crues, 29. — Établissement de la navigation à la vapeur, 31. — Divers bateaux employés, 32. — Description des bateaux les *Sirius*, 37. — *Ibid.* du *Crocodile* et du *Marsouin*, 39. — *Ibid.* du *Mistral* et du *Siroco*, 42. — Nombre de bateaux existant en 1843, 43. — Service de bateaux faisant suite à celui du chemin de fer, 43. — Conclusion, 45.

Nécrologie ; — Paroles prononcées sur la tombe de M. Berigny par M. Robin, 1. — Notice nécrologique sur le même, par M. Fèvre, 4.

P

Pambour (de), 150, 153, 155.

Patins. *Voir* Caisses, 17.

Péchoir, 244.

Pentes de chemins de fer; plans inclinés, 129. — *Voir* Routes.

Perçement. *Voir* Déblais.

Perrés avec redans, 88, 91, 93, 97.

Petiet, 307.

Philipps, 180, 200.

Plans inclinés (canaux souterrains) de Worsley, 169, 178, 181.

Plans inclinés, 129. *Voir* Chemins de fer.

Pilonnage, 370.

Pim. Lettre sur le chemin de fer atmosphérique, 73.

Pince à délie employée sur les plans inclinés de Liège pour attacher les convois au câble de traction, 146.

Poirée, inspecteur divisionnaire, 264.

Poirée (Charles), *ibid.*

Pont-sur-Yonne, 245.

Port Renard, 244.

Poulies (plans inclinés de Liège), 136, 140. — Manchons d'embranchement, 138. — Freins, 140. — Ré-

sistance due à la roideur du câble, 150. — Coefficient du frottement des axes, 154.

Puits, percement, dépenses y relatives, 104, 111.

— pour l'exploitation des houillères de Worsley, 164, 165, 177, 184. *Voir* Câbles; Machines.

R

Rails américains, 284.

Recherches. *Voir* Chaux et ciments.

Régulateur, 311.

Régulateur à force centrifuge (machines à vapeur), 140.

Reilly (O'), 170, 181.

Résistance. *Voir* Frein; Poulies; Waggon.

Résistance de l'air, 311.

Revin (souterrain de), 107.

Rhône (navigation à la vapeur sur le), 26.

Robin. Paroles prononcées à la tombe de M. Bérigny, 1.

Roctage de puits et de souterrains, 103, 104, 111, 112.

Roues, rupture, 301.

Routes en empièrrement (construction des), par M. Dumas. — Comparaison des chaussées pavées aux chaussées empièrées, 340. — Tracé, 342. — Influence des pentes sur le prix des transports, 343.

— Tracé en ligne droite; ses inconvénients dans les pays accidentés, 344. — Tracé à moindres pentes, 345. — Limite de pente à laquelle on doit tendre, 347. — Construction des chaussées en empièrrement, 349. — Fondation, 350. — Bordures, 351. — Dimensions à donner aux chaussées, 353. — Épaisseur *id.*, 354. — Bombement, 358. — Forme; 360. — Qualité et grosseur des matériaux, 361. — Consolidation des chaussées, 365. — Cylindrage, 367. — Pilonnage, 370. — Remorqueur à vapeur, 372. — Accotements, 375. — Cassis, aqueducs, écharpes, *ibid.* — Rigoles pavées, 376. — Parapets, banquettes, *ibid.* — Plantations, 377. — Gares, *ibid.*

Routes. Pertes occasionnées par les fortes déclivités et par les tracés

vicieux, note par M. Commier, 211. — Avantages des bonnes routes, 212. — Causes des tracés vicieux dans les pays de montagnes, leurs défauts, 215. — Conditions auxquelles ces routes doivent satisfaire, 217. — Évaluation des routes déclives en routes horizontales d'égale fatigue, par M. Favier, 218. — Perte résultant de l'allongement d'une route horizontale, 219. — Application au département du Cantal, 220. — Perte causée par une déclivité quelconque, 221. — Tableaux indiquant ces pertes, 222. — Déclivité la plus avantageuse au roulage, 223. — Exemple de l'emploi du tableau précédent, 224. — Déclivité applicable aux routes fréquentées par les voitures marchant au trot, 225, 231. — Application hypothétique aux routes et aux chemins vicinaux, 225. — Nécessité d'avoir égard à la masse transportée, 228. — Exemples, 233, 235. — Montées inutiles; pertes qu'elles occasionnent, 235. — Exemples, 237.

S

Sable; son emploi pour ralentir un convoi, 320.

Samuda, 47.

Saône (navigation à la vapeur sur la), 12.

Schiste, 81, 176.

Sens, 244.

Siau. Note sur l'action des vagues à de grandes profondeurs, 126.

Signaux (appareil à) pour les chemins de fer, 141.

Smith (A.), 172, 201.

Soupape. *Voir* Caisse.

Souterrain. *Voir* Canaux.

Stephenson, 153, 155.

T

Theil (chaux du); sa composition, 121.

Tournay (chaux de), 121.

Traineau-trein (plans inclinés des chemins de fer), 144.

Tranchée. *Voir* Glomel.

Transport (influence des routes déclives sur les frais de), 211.

Transport des charbons des mines de Worsley :

1^o Transports intérieurs : — Trainage : par chemins de fer, 175 ; sur le sol des galeries, au moyen de caisses à patins, *ibid.* — Chargement sur les bateaux à bennes (*tub boats*), 176. — Changement de niveau : par puits, 177 ; par plans inclinés automoteurs, 178. — Navigation souterraine, *ibid.* Voir Bateaux ; Halage.

2^o Transports extérieurs. — Railway du Sanderson's pit : développement ; plan automoteur, 181. — Waggon, 182. — Prix du transport, *ibid.* — Calcul des prix de transport des couches exploitées au bassin de Worsley, 193. — Prix des transports sur le canal du duc de Bridgewater, 201. — Transports par voitures, 210.

V

Vannes ; note sur leur action à de grandes profondeurs, par M. Siau, 126.

Vannes (canaux souterrains de Worsley), 167, 180.

Vapeur. Voir Machines.

Vicat. Recherches statistiques sur les ciments et les chaux hydrauliques dans six départements de l'ouest, 116.

Villeneuve-le-Roi, 244, 245.

Vitesse (plans inclinés du chemin de fer de Liège, 149. — Influence sur les accidents, 274.

Voie (changement de) sur les chemins de fer, 134.

Voitures. Voir Transports.

W

Waggon frein (plans inclinés de Liège, 143. — Calcul de sa résistance, 145.

Waggon préservatifs des chocs, 315.

Waggon. Voir Convoi.

— (mines de Worsley), 178, 181. Voir Freins.

Whitworth, 200.

Wood, 153, 154, 336.

Worsley (canaux souterrains de), près Manchester, 164.

Y

Yèvre (I. d'). Mémoire sur les canaux souterrains de Worsley, près Manchester (extrait), 164.

Yonne, 241.

Young (Arthur), 180.



— GLA

PL 57

chine, fice.

Grave par Adam

S INCLIN

Pl. 41.

Gravé par Adam et Cie





WIDENER LIBRARY



HX IPM2 V

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.

